

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 3 年 3 月 2 7 日
Date of Application:

出 願 番 号 特 願 2 0 0 3 - 0 8 9 3 7 6
Application Number:

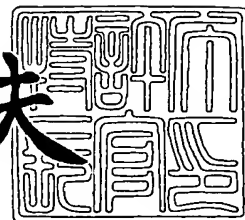
[ST. 10/C] : [J P 2 0 0 3 - 0 8 9 3 7 6]

出 願 人 株式会社東芝
Applicant(s):

2 0 0 4 年 1 月 2 7 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



【書類名】 特許願

【整理番号】 APB025019

【提出日】 平成15年 3月27日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01L 21/027

【発明の名称】 位置歪み補正装置、露光システム、露光方法及び位置歪み補正プログラム

【請求項の数】 14

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県横浜市磯子区新杉田町 8 番地 株式会社東芝
 横浜事業所内

 【氏名】 河野 拓也

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県横浜市磯子区新杉田町 8 番地 株式会社東芝
 横浜事業所内

 【氏名】 東木 達彦

【特許出願人】

 【識別番号】 000003078

 【氏名又は名称】 株式会社 東芝

【代理人】

 【識別番号】 100083806

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 三好 秀和

 【電話番号】 03-3504-3075

【選任した代理人】

 【識別番号】 100068342

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 三好 保男

【選任した代理人】

【識別番号】 100100712

【弁理士】

【氏名又は名称】 岩▲崎▼ 幸邦

【選任した代理人】

【識別番号】 100100929

【弁理士】

【氏名又は名称】 川又 澄雄

【選任した代理人】

【識別番号】 100108707

【弁理士】

【氏名又は名称】 中村 友之

【選任した代理人】

【識別番号】 100095500

【弁理士】

【氏名又は名称】 伊藤 正和

【選任した代理人】

【識別番号】 100101247

【弁理士】

【氏名又は名称】 高橋 俊一

【選任した代理人】

【識別番号】 100098327

【弁理士】

【氏名又は名称】 高松 俊雄

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 001982

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 位置歪み補正装置、露光システム、露光方法及び位置歪み補正プログラム

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 自由保持状態におけるレチクルの湾曲情報を格納する湾曲情報記憶装置と、

前記湾曲情報を用いて前記レチクルを露光装置のレチクルステージ上に固定したときに生じる位置歪みを算出する位置歪み情報算出手段と、

前記位置歪みを用いて前記露光装置の投影レンズを補正するための補正情報を算出する補正情報算出手段

とを備えることを特徴とする位置歪み補正装置。

【請求項 2】 前記湾曲情報記憶装置は、前記レチクルに対して設定された理想平面を第 1 の基準平面として、自由保持状態の前記レチクルの表面から前記第 1 の基準平面までの第 1 高さ及び前記第 1 高さが測定された前記レチクルの表面上の位置座標を前記湾曲情報として記憶することを特徴とする請求項 1 に記載の位置歪み補正装置。

【請求項 3】 前記湾曲情報を測定する湾曲情報測定装置と、

前記湾曲情報測定装置に前記湾曲情報を測定させる湾曲情報測定制御手段

とを更に備えることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の位置歪み補正装置。

【請求項 4】 前記位置歪み情報算出手段は、

前記湾曲情報を用いて自由保持状態でのレチクルの曲面近似多項式の係数をフィッティングする第 1 の係数フィッティング部と、

前記係数がフィッティングされた前記レチクルの曲面近似多項式を用いて、前記レチクルを強制的に平坦化したときに生じる前記位置歪みを算出する第 1 の位置歪み情報算出部

とを備えることを特徴とする請求項 1～3 のいずれか 1 項に記載の位置歪み補正装置。

【請求項 5】 前記レチクルステージの平坦度情報を格納する平坦度情報記憶装置を更に備え、

前記位置歪み情報算出手段は、前記湾曲情報及び前記平坦度情報を用いて前記レチクルステージの平坦度を考慮した前記位置歪みを算出する

ことを特徴とする請求項 2 に記載の位置歪み補正装置。

【請求項 6】 前記位置歪み情報算出手段は、

前記レチクルステージに対して設定された理想平面を第 2 の基準平面として、前記第 1 高さから、前記レチクルステージの表面から前記第 2 の基準平面までの第 2 高さを差し引いた第 3 高さを算出する第 3 高さ算出部と、

前記第 3 高さ、前記第 1 高さ及び前記第 2 高さが測定された前記レチクルステージの表面上の位置座標とを用いてレチクルステージの平坦度を考慮したレチクルの曲面近似多項式の係数をフィッティングする第 2 の係数フィッティング部と、

前記係数がフィッティングされた前記レチクルステージの平坦度を考慮したレチクルの曲面近似多項式を用いて、前記レチクルを前記レチクルステージに密着するように形状変化させたときに生じる前記位置歪みを算出する第 2 の位置歪み情報算出部

とを備えることを特徴とする請求項 5 に記載の位置歪み補正装置。

【請求項 7】 露光装置と、

自由保持状態におけるレチクルの湾曲情報を格納する湾曲情報記憶装置、前記湾曲情報を用いて前記レチクルを前記露光装置のレチクルステージ上に固定したときに生じる位置歪みを算出する位置歪み情報算出手段、前記位置歪みを用いて前記露光装置の投影レンズを補正するための補正情報を算出する補正情報算出手段を有する位置歪み補正装置

とを備えることを特徴とする露光システム。

【請求項 8】 前記位置歪み補正装置は、

前記湾曲情報を測定する湾曲情報測定装置と、

前記湾曲情報測定装置に前記湾曲情報を測定させる湾曲情報測定制御手段

とを更に備えることを特徴とする請求項 7 に記載の露光システム。

【請求項 9】 前記位置歪み補正装置は、

前記測定された第 1 高さを送信する湾曲情報送信手段と、

前記送信された第 1 高さを受信する湾曲情報受信手段

とを更に備えることを特徴とする請求項 7 又は 8 に記載の露光システム。

【請求項 10】 自由保持状態におけるレチクルの湾曲情報を測定するステップと、

前記湾曲情報を用いて前記レチクルを露光装置のレチクルステージ上に固定したときに生じる位置歪みを算出するステップと、

前記位置歪みを用いて前記露光装置の投影レンズを補正するための補正情報を算出するステップと、

前記補正情報を用いて前記投影レンズを補正するステップと、

前記補正された投影レンズを用いて露光するステップ

とを含むことを特徴とする露光方法。

【請求項 11】 前記位置歪みを算出するステップは、

前記レチクルに対して設定された理想平面を第 1 の基準平面として、自由保持状態の前記レチクルの表面から前記第 1 の基準平面までの第 1 高さ及び前記第 1 高さが測定された前記レチクルの表面上の位置座標を用いて自由保持状態でのレチクルの曲面近似多項式の係数をフィッティングする手順と、

前記係数がフィッティングされた前記レチクルの曲面近似多項式を用いて、前記レチクルを強制的に平坦化したときに生じる前記位置歪みを算出する手順

とを含むことを特徴とする請求項 10 に記載の露光方法。

【請求項 12】 前記レチクルステージの平坦度情報を測定するステップを更に備え、

前記位置歪みを算出するステップは、前記湾曲情報及び前記平坦度情報を用いて前記レチクルステージの平坦度を考慮した前記位置歪みを算出する

ことを特徴とする請求項 11 に記載の露光方法。

【請求項 13】 前記位置歪みを算出するステップは、

前記レチクルステージに対して設定された理想平面を第 2 の基準平面として、前記第 1 高さから、前記レチクルステージの表面から前記第 2 の基準平面までの第 2 高さを差し引いた第 3 高さを算出する手順と、

前記第 3 高さと、前記第 1 高さ及び前記第 2 高さが測定された前記レチクルス

テージの表面上の位置座標とを用いてレチクルステージの平坦度を考慮したレチクルの曲面近似多項式の係数をフィッティングする手順と、

前記係数がフィッティングされた前記レチクルステージの平坦度を考慮したレチクルの曲面近似多項式を用いて、前記レチクルを前記レチクルステージに密着するように形状変化させたときに生じる前記位置歪みを算出する手順

とを含むことを特徴とする請求項 12 に記載の露光方法。

【請求項 14】 湾曲情報記憶装置に記憶された自由保持状態におけるレチクルの湾曲情報を読み出させる命令と、

前記湾曲情報を用いて前記レチクルを露光装置のレチクルステージ上に固定したときに生じる位置歪みを算出させる命令と、

前記位置歪みを用いて前記露光装置の投影レンズを補正するための補正情報を算出させる命令と、

前記補正情報を補正情報記憶装置に記憶させる命令

とを位置歪み補正装置に実行させるための位置歪み補正プログラム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、リソグラフィ工程に用いるレチクル（マスク）の位置歪み成分を補正する技術に係り、特に位置歪み補正装置、露光システム、露光方法及び位置歪み補正プログラムに関する。

【0002】

【従来の技術】

L S I 等の半導体製造工程では、複数回のリソグラフィ工程が用いられる。このリソグラフィ工程は、ステッパにレチクルを用いて半導体ウェハ上に逐次縮小投影露光を行うのが一般的である。このレチクルが製造された後に実施される検査工程においては、自由保持の状態のレチクルに対してレチクルの形状やパターンの絶対位置測定を行い規格化し、検査を行う（例えば、特許文献 1 参照。）。

【0003】

【特許文献 1】

特開平 4-65619 号公報

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、この自由保持状態のレチクルは、X Y Z 方向にわずかに湾曲している。このため、自由保持状態のレチクルが、ステッパと呼ばれる露光装置のレチクルステージ上に真空チャック等により固定（吸着）された時、レチクルの湾曲成分が原因となる位置歪みが生じる。この位置歪みはあたかもステッパの投影レンズの歪み成分と同様の振るまいをする。

【0005】

従来、製造後の検査工程において、自由保持状態、即ち湾曲成分が存在する状態のレチクルに対して絶対位置測定を行い、レチクルステージ上に固定した場合の 2 次歪みを考慮していなかった。このため、特に複数のレチクルを用いた露光工程においては、レチクルステージに固定した状態でのレチクルの位置歪みに起因する誤差が残存してしまい、歩留まりを低下させていた。

【0006】

上記問題点を鑑み、本発明は、レチクルステージに固定した状態でのレチクルの位置歪みに起因する誤差を補正でき、歩留まりを向上できる位置歪み補正装置、露光システム、露光方法及び位置歪み補正プログラムを提供することを目的とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために、本発明の第 1 の特徴は、（イ）自由保持状態におけるレチクルの湾曲情報を格納する湾曲情報記憶装置と、（ロ）湾曲情報を用いてレチクルを露光装置のレチクルステージ上に固定したときに生じる位置歪みを算出する位置歪み情報算出手段と、（ハ）位置歪みを用いて露光装置の投影レンズを補正するための補正情報を算出する補正情報算出手段とを備える位置歪み補正装置であることを要旨とする。

【0008】

また、本発明の第 2 の特徴は、（イ）露光装置と、（ロ）自由保持状態におけ

るレチクルの湾曲情報を格納する湾曲情報記憶装置、湾曲情報を用いてレチクルを露光装置のレチクルステージ上に固定したときに生じる位置歪みを算出する位置歪み情報算出手段、位置歪みを用いて露光装置の投影レンズを補正するための補正情報を算出する補正情報算出手段を有する位置歪み補正装置とを備える露光システムであることを要旨とする。

【0009】

また、本発明の第3の特徴は、(イ) 自由保持状態におけるレチクルの湾曲情報を測定するステップと、(ロ) レチクルを露光装置のレチクルステージ上に固定したときに生じる位置歪みを算出するステップと、(ハ) 位置歪みを用いて露光装置の投影レンズを補正するための補正情報を算出するステップと、(ニ) 補正情報を用いて投影レンズを補正するステップと、(ホ) 補正された投影レンズを用いて露光するステップとを含む露光方法であることを要旨とする。

【0010】

また、本発明の第4の特徴は、(イ) 湾曲情報記憶装置に記憶された自由保持状態におけるレチクルの湾曲情報を読み出させる命令と、(ロ) 湾曲情報を用いてレチクルを露光装置のレチクルステージ上に固定したときに生じる位置歪みを算出させる命令と、(ハ) 位置歪みを用いて露光装置の投影レンズを補正するための補正情報を算出させる命令と、(ニ) 補正情報を補正情報記憶装置に記憶させる命令とを位置歪み補正装置に実行させるための位置歪み補正プログラムであることを要旨とする。

【0011】

【発明の実施の形態】

以下図面を参照して、本発明の実施の形態を説明する。図面の記載において同一あるいは類似部分には同一あるいは類似な符号を付している。

【0012】

(第1の実施の形態)

本発明の第1の実施の形態に係る露光システム100は、図1に示すように、位置歪み補正装置1及び露光装置(ステッパ)4等を備える。位置歪み補正装置1は、中央処理装置(CPU)10、CPU10にそれぞれ接続された湾曲情報

測定装置 3、湾曲情報記憶装置 8、補正情報記憶装置 9、主記憶装置 15、補助記憶装置 16、プログラム記憶装置 17、入力装置 18 及び出力装置 19 等を備える。

【0013】

湾曲情報測定装置 3 は、図 2 及び図 3 に示すようなレチクル 5（実線で図示）の自由保持状態での湾曲情報を測定する。図 2 に誇張して模式的に示すように、自由保持状態のレチクル 5（実線で図示）は、理想的な平行平板に対する微小な湾曲成分を有する。図 3 に誇張して模式的に示すように、自由保持状態におけるレチクル 5（点線で図示）を図示を省略したパターンの描かれた表面を下にして、図 1 に示したステッパ 4 のレチクルステージ 55 上に真空チャック等で固定される。この際、自由保持状態におけるレチクル 5（点線で図示）の表面上の位置座標 (x_{rm}, y_{rm}, z_{rm}) の点 P_1 が固定された状態におけるレチクル 5（実線で図示）の表面上の位置座標 $(x_{rm}-dx, y_{rm}-dy, z_{rm}-dz)$ の点 P_2 に移動して、微小な位置歪み (dx, dy, dz) が生じる。

【0014】

図 1 に示した湾曲情報測定装置 3 は、図 3 に示した自由保持状態のレチクル 5（点線で図示）の表面上のレチクルステージ 55 の座標系で定義される複数（6 点以上）の任意の点において、レチクル 5 の表面から、レチクルステージ 55 の座標系で定義される任意の第 1 の基準平面 6 までの高さ（第 1 高さ） z_{rm} をそれぞれ測定する。ここで、「基準平面」は、レチクルに対して設定された理想的な平板の表面（理想平面）を選ぶ。理想平面として、具体的には例えば曲率半径 20～270 mm 程度以上、平坦度 30 nm 程度以下（ニュートン環 3 本以内）、湾曲情報測定装置 3 の光源からの光の波長を λ としたときに面精度が $\lambda/20 \sim \lambda/10$ 程度である図示を省略したニュートン板（ニュートン原器）の表面を選ぶことが可能である。実際に、レチクルステージ 55 の上面が理想平面とすることが可能な場合は、レチクルステージ 55 の上面を第 1 の基準平面 6 とすることができる。この結果、第 1 の基準平面 6 に対して測定された複数の第 1 高さ z_{rm} 及び、各第 1 高さ z_{rm} が測定されたレチクル 5 の表面上の位置座標 (x_{rm}, y_{rm}) が自由保持状態の「湾曲情報」として得られ、湾曲情報記憶装置 8

に格納される。なお、湾曲情報測定装置 3 により測定が行われる任意の点は、入力装置 18 から入力された指示や、湾曲情報測定装置 3 の種類等に基づいて決定される。湾曲情報測定装置 3 としては、レーザー干渉計やマイクロセンサ等が使用可能である。

【0015】

図 1 に示した CPU 10 は、湾曲情報測定制御手段 11、位置歪み情報算出手段 12、補正情報算出手段 13 及び補正制御手段 14 及び露光制御手段 14a 等を備える。湾曲情報測定制御手段 11 は、湾曲情報測定装置 3 に、図 2 及び図 3 に示したレチクル 5 の自由保持状態での湾曲情報を測定させ、測定結果を湾曲装置記憶装置 8 に記憶させる命令を出す。

【0016】

図 1 に示した位置歪み情報算出手段 12 は、第 1 の係数フィッティング部 12a、形状シミュレート部 12b 及び第 1 の位置歪み情報算出部 12c 等を備える。第 1 の係数フィッティング部 12a は、レチクル 5 の自由保持状態での湾曲情報を取得し、2 次多項式である自由保持状態でのレチクル 5 の曲面近似多項式

$$z = a_1 x^2 + b_1 y^2 + c_1 xy + d_1 x + e_1 y + f_1 \cdots \cdots (1)$$

の右辺の各項の x , y には、第 1 高さ z_{rm} が測定されたレチクル 5 の表面上の位置座標 (x_{rm}, y_{rm}) を与え、左辺には、各位置座標 (x_{rm}, y_{rm}) に対応する任意の点毎の第 1 高さ z_{rm} を与えて、レチクル 5 の曲面近似多項式 (1) の係数 $a_1 \sim f_1$ をフィッティングする。なお、レチクル 5 の曲面近似多項式 (1) では未知数 $a_1 \sim f_1$ が 6 個であるので、自由保持状態での湾曲情報を測定する際、レチクル 5 の表面上の測定を行う任意の点を 6 点以上とれば良い。また、自由保持状態でのレチクル 5 の曲面近似多項式 (1) に示した 2 次多項式の他にも、 n 次 ($n \geq 3$) の多項式を用いることが可能であり、その場合は n 次の多項式の各項の係数となる未知数の数以上の点において第 1 高さ z_{rm} の測定を行えば良い。

【0017】

形状シミュレート部 12b は、係数 $a_1 \sim f_1$ がフィッティングされたレチクル 5 の曲面近似多項式 (1) に、レチクルステージ 55 のエリア全体 (例えば、X 方向 25 mm × Y 方向 33 mm) に対応する複数の任意の点の位置座標 (x_{rf} , y_{rf}) を代入して、第 1 高さ z_{rf} を算出して自由保持状態での表面形状をシミュレートする。ここで、自由保持状態のレチクル 5 の表面の任意の点の位置座標 (x_{rf} , y_{rf}) 及びその任意の点における第 1 高さ z_{rf} を用いて、図 4 に示すように 3 次元の表面形状をシミュレートできる。図 4 において、X 軸がレチクルステージ 55 上で定義されるスリット方向の位置、Y 軸がスキャン方向の位置、Z 軸がフォーカスの方向の湾曲面の位置を示す。なお、形状シミュレート部 12b によりレチクル 5 の曲面近似多項式 (1) に代入される任意の点は、湾曲情報測定装置 3 により測定されたレチクル 5 の表面上の位置座標 (x_{rm} , y_{rm}) と共通の位置座標であっても、位置座標 (x_{rm} , y_{rm}) と異なる位置座標の点であっても良い。

【0018】

図 1 に示した第 1 の位置歪み情報算出部 12c は、形状シミュレート部 12b により得られた任意の点の位置座標 (x_{rf} , y_{rf}) 及びその任意の点における第 1 高さ z_{rf} に基づき、自由保持状態におけるレチクル 5 をレチクルステージ 55 上に真空チャック等で固定し強制的に平坦化した際に、当初有していた湾曲を平坦化したために図 3 のように生じる位置歪み (dx , dy) を算出する。ここで、第 1 の位置歪み情報算出部 12c により、図 4 及び図 5 に示す任意の 2 点 M_1 , M_2 の間の位置歪み (dx , dy) を算出する方法の一例を説明する。図 5 において、弧 $M_1 - M_2$ が自由保持状態のレチクル 5 の湾曲を有する表面形状の一部を示し、線分 $M_1 - M_2$ がレチクルステージ 55 に固定し強制的に平坦化したレチクル 5 の表面形状の一部を示す。

【0019】

まず、中心点 O の座標値が任意に選ばれる。例えば、係数 $a_1 \sim f_1$ がフィッティングされたレチクル 5 の曲面近似多項式 (1) を x , y で偏微分する。そして、 x で偏微分したレチクル 5 の曲面近似多項式 (1) に任意点 M_1 の X 方向の位置座標 x_1 を代入して、X 方向の接線を求める。同様に、 y で偏微分したレチ

クル5の曲面近似多項式(1)のxに任意の点 M_1 のy方向の位置座標 y_1 を代入して、X方向の接線を求める。引き続き、XY方向の接線を含む面に対して垂直な、任意の点 M_1 を通る第1の法線 V_1 が求められる。任意の点 M_1 と同様に、任意の点 M_2 に対しても同様に第2の法線 V_2 が求められる。こうして求められた第1の法線 V_1 と第2の法線 V_2 とが直交する座標値 (x_0, y_0, z_0) の点を図5に示した中心点Oとしても良い。中心点Oは、弧 M_1-M_2 を円弧の一部とする円の中心となる点である。

【0020】

次に、中心点Oの座標値 (x_0, y_0, z_0) 、任意の点 M_1 の座標値 (x_1, y_1, z_1) 及び、任意の点 M_2 の座標値 (x_2, y_2, z_2) から、線分O-M₁、O-M₂の長さで定義される曲率半径Rが求められる。また、任意の点 M_1 から線分O-M₂に降ろした垂線と直交する点Tの座標値 (x_4, y_4, z_4) が求められる。そして、線分M₁-Tの長さhと、曲率半径Rを用いて三角関数を用いて線分O-M₁と線分O-M₂とのなす曲率角 θ が求められる。この曲率半径R及び曲率角 θ とを用いて、任意の2点 M_1, M_2 の間の弧の長さLをそれぞれ算出する。ここで、湾曲が極わずかであれば曲率角 θ が微小とすることが可能なので、任意の2点 M_1, M_2 の間の弧の長さLは $L = R\theta$ で近似することができる。そして、任意の2点 M_1, M_2 の間の弧の長さLと、任意の2点 M_1, M_2 の間の線分の長さuとの差分の長さ $L-u$ を算出する。図16に横軸をスリット位置、縦軸をスキャン位置として示すように、この差分の長さ $L-u$ を、任意の2点 M_1, M_2 の位置座標 $(x_1, y_1), (x_2, y_2)$ を用いてX方向及びY方向の成分に配分し、自由保持状態におけるレチクル5の表面上の点 M_1 (又は M_2)に対して、レチクル5をレチクルステージ55に固定し強制的に平坦化したときに生じるXY方向の位置歪み (dx, dy) として算出する。同様に、複数の任意の2点毎に図16に示すような位置歪み (dx, dy) が算出される。

【0021】

なお、図16において、位置歪み (dx, dy) が任意の点 M_1 側に生じるように示しているが、任意の点 M_2 側に生じると仮定しても良く、任意の2点 M_1

, M_2 両側に半値ずつ生じると仮定する等、適宜設定可能である。

【0022】

また、第1の位置歪み情報算出部12cは、形状シミュレート部12bにより得られた任意の点の位置座標 (x_{rf}, y_{rf}) 及びその任意の点における第1高さ z_{rf} の他にも、実際に測定された第1高さ z_{rm} 及び第1高さ z_{rm} が測定されたレチクル5の表面上の位置座標 (x_{rm}, y_{rm}) に基づいても、位置歪み (dx, dy) を算出することができる。

【0023】

図1に示した補正情報算出手段13は、補正多項式係数算出部13a及び補正情報算出部13b等を備える。補正多項式係数算出部13aは、算出された位置歪み (dx, dy) を取得し、それぞれ投影レンズ54を補正する3次多項式である第1の位置歪み補正多項式

$$\begin{aligned} dx = & k_1 + xk_3 + yk_5 \\ & + x^2k_7 + xyk_9 + y^2k_{11} \\ & + x^3k_{13} + x^2yk_{15} + xy^2k_{17} + y^3k_{19} \cdots (2) \end{aligned}$$

及び、 dx に直交する第2の位置歪み補正多項式

$$\begin{aligned} dy = & k_2 + yk_4 + xk_6 \\ & + y^2k_8 + xyk_{10} + x^2k_{12} \\ & + y^3k_{14} + xy^2k_{16} + x^2yk_{18} + x^3k_{20} \cdots (3) \end{aligned}$$

の右辺の各項の x, y には、任意の2点のうち一方の位置座標をそれぞれ与え、左辺の dx, dy には、任意の2点の間における位置歪み (dx, dy) をそれぞれ与えて、第1及び第2の位置歪み補正多項式(2), (3)の係数 $k_1 \sim k_{20}$ を算出する。ここで、係数 $k_1 \sim k_{20}$ は、投影レンズ54もしくはウェーハ、レチクルステージの歪み成分を示すパラメータである。右辺の各項の x, y に代入する位置座標は、例えば任意の2点の位置座標の平均値でも良く、適宜選

ばれる。

【0024】

図1に示した補正情報算出部13bは、レチクル5の曲面近似多項式(1)、又は第1及び第2の位置歪み補正多項式(2)、(3)の係数 $k_1 \sim k_{20}$ を用いて、図6に示したステッパ4の投影レンズ54の補正情報を算出し、補正情報記憶装置9に格納する。投影レンズ54の補正情報とは、投影レンズ54の駆動位置及び、駆動量等である。図6に示すように、ステッパ4は、露光光を照射する光源51、コンデンサレンズ52を含む照明系、レチクル5を固定するレチクルステージ55、投影レンズ54を含む投影光学系及び、ウェーハ56を固定する基板ステージ57等を有する。投影レンズ54は、複数枚のレンズからなる。投影レンズ54には、投影レンズ54の駆動量及び駆動位置を補正する補正部53が接続されている。

【0025】

図1に示した補正制御手段14は、算出された補正情報を用いて図6に示したステッパ4の補正部53に投影レンズ54の駆動量及び駆動位置を補正させる命令を出す。また、露光制御手段14aは、ステッパ4を駆動し露光させる命令を出す。ステッパ4は、光源51から露光光を照射し、コンデンサレンズ52、レチクルステージ55上に固定されたレチクル5及び、補正部53で補正された投影レンズ54を介して、レチクル5のパターンを基板ステージ57上に固定されたウェーハ56に転写させる。この際、投影レンズ54の駆動量及び駆動位置が補正されているので、レチクル5の位置歪みに起因する転写パターンのずれ等の誤差がなくレチクル5のパターンをウェーハ56に転写することができる。

【0026】

図1に示した湾曲情報記憶装置8は、湾曲情報測定装置3による測定結果を記憶する。補正情報記憶装置9は、補正情報算出部13bにより算出された補正情報を記憶する。主記憶装置15は、CPU10で演算された結果を逐次保存し、必要に応じて読み出されるメモリである。補助記憶装置16は、レチクル5のQC情報等の種々の情報を記憶可能なハードディスク等である。

【0027】

プログラム記憶装置 17 は、湾曲情報記憶装置 8 に記憶された自由保持状態におけるレチクル 5 の湾曲情報を読み出させる命令と、自由保持状態での湾曲情報を用いてレチクル 5 を露光装置 4 のレチクルステージ 55 上に固定したときに生じる位置歪み (dx , dy) を算出させる命令と、位置歪み (dx , dy) を用いて露光装置 4 の投影レンズ 54 を補正するための補正情報を算出させる命令と、補正情報を補正情報記憶装置 9 に格納させる命令等を位置歪み補正装置 1 に実行させるための位置歪み補正プログラムを保存している。この位置歪み補正プログラムが CPU 10 において演算処理される。入力装置 18 としては、キーボード、マウス及びボイスデバイス等が使用可能である。出力装置 19 としては、ディスプレイやプリンタ等が使用可能である。

【0028】

以下において、図 1～図 7 を用いて、本発明の第 1 の実施の形態に係る露光方法を説明する。なお、各手順で演算処理された結果は、図 1 に示した主記憶装置 15 に逐次保存され、必要に応じて読み出される。

【0029】

(イ) まず、図 7 のステップ S110 において、図 1 に示した湾曲情報測定制御手段 11 は、湾曲情報測定装置 3 に、自由保持状態におけるレチクル 5 の表面の複数 (6 点以上) の任意の点の第 1 の基準平面 6 までの第 1 高さ z_{rm} を測定させる。そして、レチクル 5 から第 1 の基準平面 6 までの第 1 高さ z_{rm} 及び、第 1 高さ z_{rm} が測定されたレチクル 5 の表面上の位置座標 (x_{rm} , y_{rm}) を「湾曲情報」として得て、湾曲情報記憶装置 8 に格納する。なお、測定が行われる任意の点の位置座標 (x_{rm} , y_{rm}) も、レチクルステージ 55 の座標系で定義され、湾曲情報測定装置 3 の種類や入力装置 18 から入力される指示等により選ばれる。

【0030】

(ロ) 次に、ステップ S121 において、算出された自由保持状態の湾曲情報を第 1 の係数フィッティング部 12a に入力する。第 1 の係数フィッティング部 12a は、レチクル 5 の表面から第 1 の基準平面 6 までの第 1 高さ z_{rm} 及び、第 1 高さ z_{rm} が測定されたレチクル 5 の表面上の位置座標 (x_{rm} , y_{rm})

をレチクル 5 の曲面近似多項式 (1) に代入し、レチクル 5 の曲面近似多項式 (1) の係数 $a_1 \sim f_1$ をフィッティングする。

【0031】

(ハ) 形状シミュレート部 12b は、係数 $a_1 \sim f_1$ がフィッティングされたレチクル 5 の曲面近似多項式 (1) を用いて、レチクル 5 の表面形状をシミュレートする。即ち、ステップ S122 ではレチクル 5 の曲面近似多項式 (1) を用いて、レチクルステージ 55 の範囲内における複数の任意の点の位置座標 (x_{rf} , y_{rf}) に対応した第 1 高さ z_{rf} を算出して、レチクル 5 の表面形状をシミュレートする。ここで、位置座標 (x_{rf} , y_{rf}) の任意の点は、図 3 及び図 6 に示したレチクルステージ 55 の座標系で定義される。なお、任意の点は、第 1 高さ z_{rm} が測定されたレチクル 5 の表面上の位置座標 (x_{rm} , y_{rm}) と共通しても、異なっても良い。

【0032】

(ニ) ステップ S123 において、第 1 の位置歪み情報算出部 12c は、係数 $a_1 \sim f_1$ がフィッティングされたレチクル 5 の曲面近似多項式 (1) を用いて、図 5 に示すように、任意の 2 点の間の弧の長さ L と、各任意の 2 点の間の線分の長さ u をそれぞれ算出する。そして、算出された弧の長さ L と線分の長さ u との差分の長さ $L - u$ を算出する。そして、図 16 に示すように、差分の長さ $L - u$ を XY 方向の成分に分けて、レチクル 5 をレチクルステージ 55 に固定したとき当初有していた湾曲が平坦化されたために図 3 に示すように生じる位置歪み (dx , dy) を算出する。位置歪み (dx , dy) を算出する具体的な方法は既に述べた通りであり、重複した説明を省略する。

【0033】

(ホ) ステップ S131 において、算出された位置歪み (dx , dy) を補正多項式係数算出部 13a に入力する。補正多項式係数算出部 13a は、投影レンズ 54 の第 1 及び第 2 の位置歪み補正多項式 (2), (3) に、任意の 2 点の一方の位置座標 (x_1 , y_1) 又は (x_2 , y_2)、及び任意の点間毎の位置歪み (dx , dy) を代入し、投影レンズ 54 の第 1 及び第 2 の位置歪み補正多項式 (2), (3) の係数 $k_1 \sim k_{20}$ を算出する。

【0034】

(へ) ステップS132において、補正情報算出部13bは、算出された投影レンズ54の第1及び第2の位置歪み補正多項式(2)、(3)の係数 $k_1 \sim k_{20}$ 及び、補助記憶装置16等に保存されたレチクル5のQC情報を用いて図1及び図6に示した投影レンズ54の補正情報を算出する。投影レンズ54の補正情報は、補正情報記憶装置9に格納される。

【0035】

(ト) ステップS140において、補正制御手段14は、投影レンズ54の補正情報を用いて図6に示した補正部53に投影レンズ54をの駆動量及び駆動位置を補正させることで、レチクル5の位置歪み(dx , dy)による誤差を補正できる。

【0036】

(チ) ステップS150において、露光制御手段14aは、図6に示したステップ4を駆動して、光源51から露光光を照射し、レチクル5のパターンを、補正された投影レンズ54を介して基板ステージ57上に保持されたウェーハ56に転写させる。この際、レチクル5の位置歪みに起因する誤差を補正できているので、レチクル5の位置歪みに起因する転写パターンのずれ等の誤差がなく露光することができる。なお、本発明の第1の実施の形態に係る露光方法は、上述したステップS110～S150の手順に限定されるものでないことは勿論である。

【0037】

以上説明したように、本発明の第1の実施の形態によれば、レチクル5の湾曲が要因となるレチクルステージ55に固定し強制的に湾曲を平坦化したときに生じる位置歪み(dx , dy)を露光工程の前に予測できるので、レチクル5の位置歪み(dx , dy)に起因する誤差を補正でき、歩留まりを向上できる。

【0038】

(第2の実施の形態)

本発明の第2の実施の形態に係る露光システム100aは、図8に示すように、位置歪み補正装置1a及び露光装置(ステップ)4等を備える。本発明の第2

の実施の形態に係る露光システム 100a として、レチクル 5 の湾曲情報に加えて、レチクルステージ 55 の平坦度情報を考慮したシステムを説明する。図 9 に誇張して模式的に示すように、実際のレチクルステージ 55 の表面は理想的な平面に対して微小な傾きや表面での凹凸を有する。自由保持状態におけるレチクル（点線で図示）5 をレチクルステージ 55 の実際の表面上に密着するように固定したとき、レチクル 5 の座標位置 (x_{rm}, y_{rm}, z_{rm}) の点 P がこのレチクルステージ 55 の実際の表面に密着するように座標位置 $(x_{rm} - d'x, y_{rm} - d'y, z_{rm} - d'z)$ に移動する。即ち、自由保持状態におけるレチクル 5 が当初有していた湾曲を表面に凹凸や傾きを有するレチクルステージ 55 に密着するように形状変化したために生じる位置歪み $(d'x, d'y, d'z)$ は、当初有していた湾曲が強制的に平坦化された図 3 に示した位置歪み (dx, dy, dz) よりも、理想的な平面に対するレチクルステージ 55 の表面の凹凸や傾きとの差分だけずれる。ここで、XY 方向の位置歪み $(d'x, d'y)$ がごく微小であるために、座標位置 (x_{rm}, y_{rm}) における高さ方向の位置歪み $d'z$ は、自由保持状態のレチクル 5（点線で図示）の当初有していた湾曲を平坦化した高さ（第 1 高さ） z_{rm} の変化分に加えて、その座標位置 (x_{rm}, y_{rm}) におけるレチクルステージ 55 の凹凸や傾きを有する実際の表面までの高さ（第 2 高さ） z_{sm} の変化分だけずれると近似することができる。図 8 に示した位置歪み補正装置 1a は、CPU10a、CPU10a にそれぞれ接続された、湾曲情報測定装置 3、平坦度情報測定装置 7、湾曲情報記憶装置 8、平坦度情報記憶装置 8a、補正情報記憶装置 9、主記憶装置 15、補助記憶装置 16、プログラム記憶装置 17a、入力装置 18 及び出力装置 19 等を備える。

【0039】

平坦度情報測定装置 7 は、ステップ 4 で用いるレチクルステージ 55 の実際の表面からレチクルステージ 55 に対して設定された第 2 の基準平面 6 までの高さ（第 2 高さ） z_{sm} を複数の任意の点で測定する。ここで、「基準平面」は、既に述べた通りであり、図 9 に示すように、レチクル 5 に対して設定された第 1 の基準平面 6 及び、レチクルステージ 55 に対して設定された第 2 の基準平面 6 として、互いに同一の理想平面を選ぶこともできる。平坦度情報測定手段 11x に

より測定された複数の任意の点毎の第2高さ z_{sm} 及び、第2高さ z_{sm} が測定されたレチクルステージ55の表面上の位置座標 (x_{rm}, y_{rm}) とが、「平坦度情報」として得られ、平坦度情報記憶装置8aに格納される。平坦度情報測定装置7としては、レーザー干渉計等が使用可能である。

【0040】

CPU10aは、図1に示したCPU10に対して、平坦度情報測定手段11xを更に備え、位置歪み情報算出手段12xを備える点が異なる。

【0041】

平坦度情報測定手段11xは、平坦度情報測定装置7に、レチクルステージ55の平坦度情報を測定させ、平坦度情報記憶装置8aに格納させる命令を出す。

【0042】

位置歪み情報算出手段12xは、第1の係数フィッティング部12a、形状シミュレート部12b、第3の係数フィッティング部12d、第3高さ算出部12e及び、第2の係数フィッティング部12f及び、第2の位置歪み情報算出部12gを備える。

【0043】

第1の係数フィッティング部12aは、自由保持状態におけるレチクル5の湾曲情報を取得し、自由保持状態におけるレチクル5の表面から第1の基準平面6までの第1高さ z_{rm} 及び、第1高さ z_{rm} が測定されたレチクル5の表面上の位置座標 (x_{rm}, y_{rm}) を用いて、レチクル5の曲面近似多項式(1)の係数 $a_1 \sim f_1$ をフィッティングする。

【0044】

第3の係数フィッティング部12dは、レチクルステージ55の平坦度情報を取得し、第2の基準平面6に対して測定された第2高さ z_{sm} 及び第2高さ z_{sm} が測定されたレチクルステージ55の表面上の位置座標 (x_{rm}, y_{rm}) を、2次多項式であるレチクルステージ55の曲面近似多項式

$$z = a_2 x^2 + b_2 y^2 + c_2 xy + d_2 x + e_2 y + f_2 \cdots \cdots (4)$$

に代入してレチクルステージ 55 の曲面近似多項式 (4) の係数 $a_2 \sim f_2$ をフィッティングする。

【0045】

形状シミュレート部 12b は、係数 $a_1 \sim f_1$ がフィッティングされたレチクル 5 の曲面近似多項式 (1) を用いて、複数の任意の点の位置座標 (x_{rf} , y_{rf}) を代入し、自由保持状態におけるレチクル 5 の表面から第 1 の基準平面 6 までの第 1 高さ z_{rf} を算出して、自由保持状態におけるレチクル 5 の表面形状をシミュレートする。形状シミュレート部 12b は更に、係数 $a_2 \sim f_2$ がフィッティングされたレチクルステージ 55 の曲面近似多項式 (4) に、複数の任意の点の位置座標 (x_{rf} , y_{rf}) を代入し、レチクルステージ 55 の表面から第 2 の基準平面 6 までの第 2 高さ z_{sf} を算出して、レチクルステージ 55 の実際の表面形状をシミュレートする。

【0046】

第 3 高さ算出部 12e は、形状シミュレート部 12b により得られた第 1 高さ z_{rf} 及び第 2 高さ z_{sf} を入力し、同一位置座標 (x_{rf} , y_{rf}) における第 1 高さ z_{rf} から第 2 高さ z_{sf} を差し引いた第 3 高さ z_{rsf} を算出する。また、第 3 高さ算出部 12e は、第 1 の基準平面 6 に対して測定された自由保持状態におけるレチクル 5 の湾曲情報及び、第 2 の基準平面 6 に対して測定されたレチクルステージ 55 の平坦度情報を取得し、同一位置座標 (x_{rm} , y_{rm}) で測定された第 1 高さ z_{rm} から第 2 高さ z_{sm} を差し引いた第 3 高さ z_{rsm} を算出することも可能である。この際、第 1 の基準平面 6 と第 2 の基準平面 6 とを同一の理想平面としておけば、計算が単純化できる。

【0047】

第 2 の係数フィッティング部 12f は、レチクルステージ 55 の平坦度を考慮したレチクル 5 の曲面近似多項式

$$z = a_3 x^2 + b_3 y^2 + c_3 xy + d_3 x + e_3 y + f_3 \quad \cdots \cdots (5)$$

の右辺に任意の点の位置座標 (x_{rm} , y_{rm}) を代入し、左辺に任意の点にお

ける第3高さ z_{sm} を代入して、レチクルステージ55の平坦度を考慮したレチクル5の曲面近似多項式(5)の係数 $a_3 \sim f_3$ をフィッティングする。なお、第2の係数フィッティング部12fは、測定された第1高さ z_{rm} から測定された第2高さ z_{sm} を差し引いた第3高さ $z_{rs m}$ 及び、その第1高さ z_{rm} と第2高さ z_{sm} が測定された共通する位置座標 (x_{rm}, y_{rm}) を、レチクルステージ55の平坦度を考慮したレチクル5の曲面近似多項式(5)の係数 $a_3 \sim f_3$ をフィッティングすることも可能である。

【0048】

第1の位置歪み情報算出部12cは、係数 $a_3 \sim f_3$ がフィッティングされたレチクルステージ55の平坦度を考慮したレチクル5の曲面近似多項式(5)を用いて、レチクル5が実際のレチクルステージ55に固定され、レチクルステージ55の実際の表面に密着するように固定したときに、当初有していた湾曲をレチクルステージ55に密着するように形状変化したために生じるXY方向の位置歪み (d'_x, d'_y) を算出する。

【0049】

平坦度情報記憶装置8aは、平坦度情報測定装置7による測定結果を記憶する。プログラム記憶装置17aは、平坦度情報記憶装置8aに記憶されたレチクルステージ55の平坦度情報を読み出させる命令及び、第3高さ $z_{rs f}$ を算出させる命令等を位置歪み補正装置1aに実行させるための位置歪み補正プログラムを保存している。露光システム100aの他の構成は、図1に示した位置歪み補正装置1と実質的に同様であるので、重複した説明を省略する。

【0050】

以下、本発明の第2の実施の形態に係る露光方法を図8～図10を用いて説明する。

【0051】

(イ) まず、図10のステップS210において、湾曲情報測定制御手段11は、湾曲情報測定装置3にレチクル5の自由保持状態での湾曲情報を測定させ、湾曲情報記憶装置8に格納させる。この手順は図7に示したステップS110と同様の手順であるので、重複した説明は省略する。一方、平坦度情報測定手段1

1 x は、図 9 に示すように平坦度情報測定装置 7 に複数（6 点以上）の任意の点の位置座標（ x_{rm} , y_{rm} ）及び、その任意の点におけるレチクルステージ 5 5 の表面から第 2 の基準平面 6 までの第 2 高さ z_{sm} を平坦度情報として測定させる。ここで、第 2 の基準平面 6 は、例えば第 1 の基準平面 6 と同一の理想平面として選ばれる。測定結果は、平坦度情報記憶装置 8 a に格納される。

【0052】

（ロ）ステップ S 2 2 1 において、第 1 の係数フィッティング部 1 2 a は、自由保持状態での湾曲情報を用いて第 1 の基準平面 6 に対して測定された第 1 高さ z_{rm} 及び第 1 高さ z_{rm} が測定されたレチクル 5 の表面上の位置座標（ x_{rm} , y_{rm} ）をレチクル 5 の曲面近似多項式（1）に代入して係数 $a_1 \sim f_1$ をフィッティングする。また、第 3 の係数フィッティング部 1 2 d は、第 2 の基準平面 6 に対して測定されたレチクルステージ 5 5 の平坦度情報を用いて、第 2 高さ z_{sm} 及び第 2 高さ z_{sm} が測定されたレチクルステージ 5 5 の表面上の位置座標（ x_{rm} , y_{rm} ）をレチクルステージ 5 5 の曲面近似多項式（4）に代入してレチクルステージ 5 5 の曲面近似多項式（4）の係数 $a_2 \sim f_2$ をフィッティングする。

【0053】

（ハ）ステップ S 2 2 2 において、形状シミュレート部 1 2 b は、係数 $a_1 \sim f_1$ がフィッティングされたレチクル 5 の曲面近似多項式（1）を用いて、複数の任意の点の位置座標（ x_{rf} , y_{rf} ）を代入して、第 1 高さ z_{rf} を算出し、レチクル 5 の湾曲を有する表面形状をシミュレートする。また、形状シミュレート部 1 2 b は、係数 $a_2 \sim f_2$ がフィッティングされたレチクルステージ 5 5 の曲面近似多項式（4）を用いて、複数の任意の点の位置座標（ x_{rf} , y_{rf} ）を代入して第 2 高さ z_{sf} を算出し、レチクルステージ 5 5 の実際の表面形状をシミュレートする。

【0054】

（ニ）ステップ S 2 2 3 において、第 3 高さ算出部 1 2 e は、それぞれ算出された同一位置座標の任意の点における第 1 高さ z_{rf} から第 2 高さ z_{sf} を差し引いた第 3 高さ z_{rsf} を算出する。また、第 3 高さ算出部 1 2 e は、ステップ

S 2 1 0 で測定された同一位置座標における第 1 高さ z_{rm} から第 2 高さ z_{sm} を差し引いた第 3 高さ $z_{rs m}$ を算出することもできる。

【0055】

(ホ) ステップ S 2 2 4 において、第 2 の係数フィッティング部 1 2 f は、算出された第 3 高さ $z_{rs f}$ に対応する位置座標 (x_{rf}, y_{rf}) をレチクルステージ 5 5 の平坦度を考慮したレチクル 5 の曲面近似多項式 (5) に代入して、レチクル 5 に対応する係数 $a_3 \sim f_3$ をフィッティングする。なお、ステップ S 2 2 4 において、第 1 の係数フィッティング部 1 2 a は、ステップ S 2 1 0 で算出された、測定された第 1 高さ z_{rm} から第 2 高さ z_{sm} を差し引いた第 3 高さ $z_{rs f}$ に対応する位置座標 (x_{rf}, y_{rf}) をレチクルステージ 5 5 の平坦度を考慮したレチクル 5 の曲面近似多項式 (5) に代入して、係数 $a_3 \sim f_3$ をフィッティングしても良い。

【0056】

(ヘ) ステップ S 2 2 5 において、第 2 の位置歪み情報算出部 1 2 g は、係数 $a_3 \sim f_3$ がフィッティングされた、レチクルステージ 5 5 の平坦度を考慮したレチクル 5 の曲面近似多項式 (5) を用いて、レチクル 5 の表面上の複数の任意の 2 点間における、当初有していた湾曲がレチクルステージ 5 5 の表面に密着するように固定したときに生じる位置歪み $(d' x, d' y)$ を算出する。第 2 の位置歪み情報算出部 1 2 g により位置歪み $(d' x, d' y)$ を算出する方法は、図 7 に示したステップ S 1 2 3 における位置歪み $(d x, d y)$ を算出する方法と同様であるので、重複した説明を省略する。

【0057】

(ト) ステップ S 2 3 1 において、補正多項式係数算出部 1 3 a により第 1 及び第 2 の位置歪み補正多項式 (2), (3) の係数 $k_1 \sim k_{20}$ を算出する。また、ステップ S 2 3 2 において、補正情報算出部 1 3 b により補正情報を算出し、補正情報記憶装置 9 に格納する。ステップ S 2 3 1 及びステップ S 2 3 2 の手順は、図 7 のステップ S 1 3 1 及び S 1 3 2 と同様の手順であるので、重複した説明を省略する。また、ステップ S 2 4 0 及びステップ S 2 5 0 の手順は、図 7 のステップ S 1 4 0 及びステップ S 1 5 0 と実質的に同様であるので、重複した

説明を省略する。なお、本発明の第2の実施の形態に係る露光方法として、ステップS210～S250の手順を説明したが、これに限定されないことは勿論であり、他にも種々の手順を有しても良い。

【0058】

以上説明したように、本発明の第2の実施の形態によれば、本発明の第1の実施の形態と同様に、レチクル5の位置歪みに起因する誤差を補正でき、歩留まりを向上できる。また、レチクル5の湾曲情報に加えて、レチクルステージ55の平坦度情報にも基づいて位置歪み($d'x$, $d'y$)を算出するので、レチクルステージ55の平坦度を考慮したレチクル5の位置歪みに起因する誤差を補正することが可能となる。

【0059】

(第3の実施の形態)

本発明の第3の実施の形態に係る露光システム100cは、図11に示すように、位置歪み補正装置1c及び2つのステッパ4、4a等を備える。本発明の第3の実施の形態において、図6に示したステッパ4のレチクルステージ55上にレチクル5を固定してウェーハ56に露光（以下において「1次露光」という。）し、図11に示したステッパ4aのレチクルステージ55a上にレチクル5aを固定して、ウェーハ56に露光（以下において「2次露光」という。）する、いわゆるミックスアンドマッチ露光を行う場合を説明する。

【0060】

位置歪み補正装置1cは、CPU10c、CPU10cにそれぞれ接続された、湾曲情報測定装置3、平坦度情報測定装置7、湾曲情報記憶装置8、平坦度情報記憶装置8a、補正情報記憶装置9、主記憶装置15、補助記憶装置16、プログラム記憶装置17c、入力装置18、出力装置19及び通信制御装置20等を備える。CPU10cは、湾曲情報測定制御手段11、平坦度情報測定手段11x、位置歪み情報算出手段12x、補正情報算出手段13x、補正制御手段14及び露光制御手段14a等を備える。

【0061】

湾曲情報測定制御手段11は、湾曲情報測定装置3にステッパ4で用いるレチ

クル 5 の自由保持状態での湾曲情報及び、ステップ 4 a で用いるレチクル 5 a の自由保持状態での湾曲情報を測定させ、湾曲情報記憶装置 8 に格納させる命令を出す。また、平坦度情報測定手段 11 x は、平坦度情報測定装置 7 にステップ 4 のレチクルステージ 55 の平坦度情報及び、ステップ 4 a のレチクルステージ 55 a の平坦度情報を測定させ、平坦度情報記憶装置 8 a に格納させる命令を出す。位置歪み情報算出手段 12 x は、レチクル 5 の位置歪み ($d'x$, $d'y$) に加えて、レチクル 5 a をレチクルステージ 55 a に密着するように固定したときに当初有していた湾曲が形状変化したために生じる位置歪み ($d'x$, $d'y$) も算出する。

【0062】

補正情報算出手段 13 x は、補正多項式係数算出部 13 a、補正情報算出部 13 b 及び係数差分値算出部 13 c を更に有する。補正多項式係数算出部 13 a は、算出されたレチクル 5 の位置歪み ($d'x$, $d'y$) を第 1 及び第 2 の位置歪み補正多項式 (2), (3) に代入し、第 1 及び第 2 位置歪み補正多項式 (2), (3) の係数 $k_1 \sim k_{20}$ を算出する。補正多項式係数算出部 13 a は更に、算出されたレチクル 5 a の位置歪み ($d'x$, $d'y$) を用いて投影レンズ 54 a を補正する第 3 の位置歪み補正多項式

$$\begin{aligned} d_x = & k'_1 + x k'_3 + y k'_5 \\ & + x^2 k'_7 + x y k'_9 + y^2 k'_{11} \\ & + x^3 k'_{13} + x^2 y k'_{15} + x y^2 k'_{17} + y^3 k'_{19} \\ & \dots (6) \end{aligned}$$

及び、 d_x に直交する第 4 の位置歪み補正多項式

$$\begin{aligned} d_y = & k'_2 + y k'_4 + x k'_6 \\ & + y^2 k'_8 + x y k'_{10} + x^2 k'_{12} \\ & + y^3 k'_{14} + x y^2 k'_{16} + x^2 y k'_{18} + x^3 k'_{20} \\ & \dots (7) \end{aligned}$$

の右辺の各項の x , y に任意の点の一方の位置座標を代入し、左辺にその任意の点における位置歪み (dx , dy) を代入して、第3及び第4の位置歪み補正多項式 (6), (7) の係数 $k'_1 \sim k'_{20}$ を算出する。

【0063】

係数差分値算出部 13c は、第1及び第2の位置歪み補正多項式 (2), (3) の係数 $k_1 \sim k_{20}$ から、算出された第3及び第4の位置歪み補正多項式 (6), (7) の係数 $k'_1 \sim k'_{20}$ をそれぞれ差し引いた差分値 $k_1 - k'_1$, $k_2 - k'_2$, \dots , $k_{20} - k'_{20}$ を算出する。補正情報算出部 13b は、算出された差分値 $k_1 - k'_1$, $k_2 - k'_2$, \dots , $k_{20} - k'_{20}$ に基づき、ステップ 4a の投影レンズ 54a を補正するための補正情報を算出する。

【0064】

補正制御手段 14 は、ステップ 4a の補正部 53 に、投影レンズ 54a の駆動量及び駆動位置を補正させる命令を出す。露光制御手段 14a は、ステップ 4 に投影レンズ 54 を介してレチクル 5 のパターンを露光させた後、ステップ 4a に投影レンズ 54a を介してレチクル 5a のパターンを露光させる。

【0065】

プログラム記憶装置 17c には、CPU 10c において演算処理される、差分値 $k_1 - k'_1$, $k_2 - k'_2$, \dots , $k_{20} - k'_{20}$ を算出する演算をさせる命令等を位置歪み補正装置 1c に実行させるための位置歪み補正プログラムを保存する。露光システム 100c の他の構成は、図8に示した露光システム 100a と実質的に同様であるので、重複した説明を省略する。

【0066】

以下において、図11及び図12を用いて本発明の第3の実施の形態に係る露光方法を説明する。

【0067】

(イ) まず、図12のステップ S310 において、図11に示した湾曲情報測定制御手段 11 は、湾曲情報測定装置 3 にレチクル 5, 5a の自由保持状態での

湾曲情報を測定させる。また、平坦度情報測定手段 11x は、平坦度情報測定装置 7 にレチクルステージ 55、55a の平坦度情報を測定させる。

【0068】

(ロ) ステップ S321～S325 において、位置歪み情報算出手段 12x により、レチクル 5、5a の自由保持状態での湾曲情報及び、レチクルステージ 55、55a の平坦度情報を用いてレチクル 5、5a の当初有していた湾曲がレチクルステージ 55 に固定し平坦化されたために生じる位置歪み (d'_x , d'_y) をそれぞれ算出する。ステップ S321～S325 の手順はレチクル 5a の位置歪み (d'_x , d'_y) も算出することの他は、図 10 のステップ S221～225 の手順と実質的に同様であるので、重複した説明を省略する。

【0069】

(ハ) ステップ S331 において、補正多項式係数算出部 13a は、算出されたレチクル 5 の位置歪み (d'_x , d'_y) を用いて第 1 及び第 2 の位置歪み補正多項式 (2), (3) の係数 $k_1 \sim k_{20}$ をそれぞれ算出する。更に、補正多項式係数算出部 13a は、算出されたレチクル 5a の位置歪み (d'_x , d'_y) を用いて第 3 及び第 4 の位置歪み補正多項式 (6), (7) の係数 $k'_1 \sim k'_{20}$ をそれぞれ算出する。

【0070】

(ニ) ステップ S332 において、係数差分値算出部 13c は、算出された第 1 及び第 2 の位置歪み補正多項式 (2), (3) の係数 $k_1 \sim k_{20}$ 及び第 3 及び第 4 の位置歪み補正多項式 (6), (7) の係数 $k'_1 \sim k'_{20}$ を取得し、これらの差分値 $k_1 - k'_1$, $k_2 - k'_2$, \dots , $k_{20} - k'_{20}$ をそれぞれ算出する。

【0071】

(ホ) ステップ S333 において、補正情報算出部 13b は、算出された差分値 $k_1 - k'_1$, $k_2 - k'_2$, \dots , $k_{20} - k'_{20}$ 及び、補助記憶装置 16 等に保存されたレチクル 5 の QC 情報等を用いてステッパ 4a の投影レンズ 54a を補正するための補正情報を算出し、補正情報記憶装置 9 に格納する。

【0072】

(へ) ステップ S 3 4 0 において、補正制御手段 1 4 は、投影レンズ 5 4 a の補正情報を用いてステッパ 4 a の補正部 5 3 a に投影レンズ 5 4 a の駆動位置及び駆動量を補正させる。

【0073】

(ト) ステップ S 3 5 0 において、露光制御手段 1 4 a は、図 6 に示したステッパ 4 を駆動して、レチクル 5 のパターンを投影レンズ 5 4 を介してウェーハ 5 6 に 1 次露光させる。その後、露光制御手段 1 4 a は、ステッパ 4 a を駆動して、レチクル 5 a のパターンを補正された投影レンズ 5 4 a を介して、レチクル 5 のパターンが 1 次露光されたウェーハへ 2 次露光させる。投影レンズ 5 4 a が補正されているので、レチクル 5, 5 a に起因する誤差がなく、レチクル 5 a のパターンを転写することが可能となる。

【0074】

以上説明したように、本発明の第 3 の実施の形態によれば、2 台のステッパ 4, 4 a とそれぞれのレチクルステージ 5 5, 5 5 a 上に固定したレチクル 5, 5 a を用いてミックスアンドマッチ露光を行う場合でも、ステッパ 4 a で露光する前に、予めレチクル 5, 5 a をレチクルステージ 5 5, 5 5 a に固定したときに生じる位置歪み ($d' x$, $d' y$) に起因する誤差を補正でき、歩留まりを向上できる。

【0075】

(第 4 の実施の形態)

第 1 ～ 第 3 の実施の形態において、ひとまとまりの露光システムをそれぞれ示したが、例えば通信ネットワークを介して遠隔地で複数の装置で協働させても良い。本発明の第 4 の実施の形態に係る露光システム 1 0 0 e は、図 1 3 に示すように、センター側に設置された位置歪み補正装置 1 e と、位置歪み補正装置 1 e に通信ネットワーク 2 を介して接続可能である第 1 の工場側に設置された位置歪み補正装置 2 a, 第 2 の工場側に設置された位置歪み補正装置 2 b, 第 3 の工場側に設置された位置歪み補正装置 2 c, ……、第 n の工場側に設置された位置歪み補正装置 2 n とを備える。通信ネットワーク 2 としては、インターネットやイントラネット等が使用可能である。

【0076】

第1の工場側に設置された位置歪み補正装置2aは、図14に示すように、CPU10fと、CPU10fにそれぞれ接続された、湾曲情報測定装置3、平坦度情報測定装置7、湾曲情報記憶装置8、平坦度情報記憶装置8a、主記憶装置15、プログラム記憶装置17f、入力装置18、出力装置19及び通信制御装置20等を備える。位置歪み補正装置2aには露光装置（ステッパ）4が接続されている。

【0077】

CPU10fは、湾曲情報測定制御手段11、平坦度情報測定手段11x、湾曲情報送信手段11a、平坦度情報送信手段11b、補正情報受信手段14b、補正制御手段14及び露光制御手段14aとを含む。湾曲情報送信手段11aは、露光装置4で用いるレチクルの自由保持状態での湾曲情報を図13に示した通信ネットワーク2を介して、センター側の位置歪み補正装置1eへ送信する。また、平坦度情報送信手段11bは、ステッパ4のレチクルステージの平坦度情報を通信ネットワーク2を介してセンター側の位置歪み補正装置1eへ送信する。補正情報受信手段14bは、位置歪み補正装置1eから通信ネットワーク2を介して補正情報を受信する。また、通信制御装置20は、位置歪み補正装置2aの通信ネットワーク2を介した通信を制御する。プログラム記憶装置17fは、自由保持状態での湾曲情報を送信する命令及び、補正情報を受信する命令等を位置歪み補正装置2aに実行させるための位置歪み補正プログラムを保存している。第2～第nの工場側に設置された位置歪み補正装置2b～2nの構成も、位置歪み補正装置2aと同様であるので、重複した説明を省略する。

【0078】

一方、図13に示したセンター側に設置された位置歪み補正装置1eは、図15に示すように、CPU10eと、CPU10eにそれぞれ接続された補正情報記憶装置9、主記憶装置15、補助記憶装置16、プログラム記憶装置17e、入力装置18、出力装置19及び通信制御装置20等を備える。CPU10eは、湾曲情報受信手段11c、平坦度情報受信手段11d、位置歪み情報算出手段12x、補正情報算出手段13x及び、補正情報送信手段14c等を含む。湾曲

情報受信手段 11c は、複数（第 1～第 n）の工場側に設置された位置歪み補正装置 2a～2n から通信ネットワーク 2 を介して、自由保持状態での湾曲情報をそれぞれ受信する。平坦度情報受信手段 11d は、複数（第 1～第 n）の工場側に設置された位置歪み補正装置 2a～2n から通信ネットワーク 2 を介して、レチクルステージの平坦度情報をそれぞれ受信する。

【0079】

位置歪み情報算出手段 12x は、複数（第 1～第 n）の工場での露光工程において用いるレチクルの位置歪み情報をそれぞれ算出する。補正情報算出手段 13x は、複数（第 1～第 n）の工場のステップの投影レンズを補正するための補正情報をそれぞれ算出し、補正情報記憶装置 9 に格納する。補正情報送信手段 14c は、投影レンズの補正情報を通信ネットワーク 2 を介して、図 13 に示した複数（第 1～第 n）の工場 2a～2n 側にそれぞれ設置された位置歪み補正装置 2a～2n へフィードバックする。プログラム記憶装置 17e は、自由保持状態での湾曲情報を受信する命令及び、レチクルステージの平坦度情報を受信する命令等を位置歪み補正装置 1e に実行させるための位置歪み補正プログラムを保存している。

【0080】

以下、図 13～図 15 を用いて、本発明の第 4 の実施の形態に係る露光方法を説明する。なお、図 14 に示した位置歪み補正装置 2a を用いて説明するが、位置歪み補正装置 2b～2n についても、位置歪み補正装置 2a と同様の処理が行われる。

【0081】

(イ) まず、図 14 に示した第 1 の工場側に設置された位置歪み補正装置 2a において、湾曲情報測定制御手段 11 により、湾曲情報測定装置 3 にレチクルの自由保持状態での湾曲情報を測定させ、湾曲情報記憶装置 8 に記憶させる。また、平坦度情報測定制御手段 11x により、平坦度情報測定装置 7 にレチクルステージの自平坦度情報を測定させ、平坦度情報記憶装置 8a に記憶させる。弧の手順は、図 10 に示したステップ S210 と同様の手順なので、重複した説明を省略する。

【0082】

(ロ) 次に、湾曲情報送信手段 11a は、露光装置 4 で用いるレチクルの自由保持状態での湾曲情報を図 13 に示した通信ネットワーク 2 を介して、センター側の位置歪み補正装置 1e へ送信する。また、平坦度情報送信手段 11b は、露光装置 4 のレチクルステージの平坦度情報を通信ネットワーク 2 を介してセンター側の位置歪み補正装置 1e へ送信する。

【0083】

(ハ) 次に、図 13 に示したセンター側に設置された位置歪み補正装置 1e において、湾曲情報受信手段 11c は、複数（第 1～第 n）の工場側に設置された位置歪み補正装置 2a～2n から通信ネットワーク 2 を介して、自由保持状態での湾曲情報をそれぞれ受信する。また、平坦度情報受信手段 11d は、複数（第 1～第 n）の工場側に設置された位置歪み補正装置 2a～2n から通信ネットワーク 2 を介して、レチクルステージの平坦度情報をそれぞれ受信する。

【0084】

(ニ) 次に、位置歪み情報算出手段 12x は、複数（第 1～第 n）の工場での露光工程において用いるレチクルの位置歪みをそれぞれ算出する。補正情報算出手段 13x は、複数（第 1～第 n）の工場のステップの投影レンズを補正するための補正情報をそれぞれ算出し、補正情報記憶装置 9 に格納する。この手順は、図 10 に示したステップ S221～S232 と同様の手順なので、重複した説明を省略する。

【0085】

(ホ) 次に、補正情報送信手段 14c は、投影レンズの補正情報を通信ネットワーク 2 を介して、図 13 に示した複数（第 1～第 n）の工場 2a～2n 側にそれぞれ設置された位置歪み補正装置 2a～2n へフィードバックする。

【0086】

(ヘ) 次に、図 14 に示した第 1 の工場側に設置された位置歪み補正装置 2a において、補正情報受信手段 14b は、位置歪み補正装置 1e から通信ネットワーク 2 を介して補正情報を受信する。

【0087】

(ト) 次に、補正制御手段 14 は、ステッパ 4 の図示を省略した補正部に、図示を省略した投影レンズの駆動量及び駆動位置を補正させる。そして、露光制御手段 14 a は、ステッパ 4 に、補正された投影レンズを解して露光させる。この手順は、図 10 に示したステップ S 240 及び S 250 と同様の手順なので、重複した説明を省略する。

【0088】

本発明の第 4 の実施の形態によれば、遠隔地に設置された複数の工場がそれぞれ有するレチクルのレチクルステージに固定された時に生じる位置歪みに起因する誤差を補正でき、歩留まりを向上できる。

【0089】

(その他の実施の形態)

上記のように、本発明は、第 1 ～ 第 4 の実施の形態によって記載したが、この開示の一部をなす論述及び図面はこの発明を限定するものであると理解すべきではない。この開示から当業者には様々な代替実施の形態、実施例及び運用技術が明らかとなろう。

【0090】

例えば、本発明の第 1 ～ 第 4 の実施の形態において、レチクルの曲面近似多項式 (1)，レチクルステージの曲面近似多項式 (4)，レチクルステージの平坦度を考慮したレチクルの曲面近似多項式 (5) として 2 次の多項式を用いたが、3 次、4 次、5 次、…… n 次 ($n \geq 3$) の多項式をそれぞれ用いても良い。第 1 ～ 第 4 の位置歪み補正多項式 (2)，(3)，(6)，(7) として 3 次の多項式を用いたが、4 次、5 次、…… n 次 ($n \geq 4$) の多項式を用いても良い。

【0091】

また、本発明の第 4 の実施の形態として、図 13 に複数 (第 1 ～ 第 n) の工場側にそれぞれ設置された位置歪み補正装置 2 a ～ 2 n を示したが、位置歪み補正装置 2 a ～ 2 n の個数や、各位置歪み補正装置 2 a ～ 2 n が有するステッパの個数等も限定されないのは勿論である。また、工場としては、半導体装置メーカー、露光装置メーカーやレチクルメーカー等、種々の工場が採用可能である。

【0092】

また、本発明の第1～第4の実施の形態において、レチクル5の自由保持状態の湾曲情報及びレチクルステージ55の平坦度情報等の測定の手順から、露光装置4等による露光の手順までを連続して行わなくても良い。例えば、図1に示した湾曲情報記憶装置8に、測定されたレチクル5の自由保持状態での湾曲情報を格納しておく。そして、必要に応じて適宜、第1の係数フィッティング部12a等により湾曲情報を読み出して、投影レンズ54の補正情報を算出し、補正情報記憶装置9に格納しても良い。また、露光工程の際など必要に応じて適宜補正情報記憶装置9に記憶されている補正情報を用いることも可能である。

【0093】

また、本発明の第2～第4の実施の形態において、測定されたレチクルステージ55の平坦度情報のみに基づけば、当初完全に平坦な平板と仮定したレチクル5をレチクルステージ55に固定した際にレチクルステージ55の傾きや表面の凹凸により生じる位置歪み($d'x$, $d'y$)も算出することができる。しかし、レチクル5の曲面近似多項式(1)は厳密には以下のように深度(焦点深度)の関数となる

$$z(T) = a_1(T)x^2 + b_3(T)y^2 + c_3(T)xy \\ + d_3(T)x + e_3(T)y + f_3(T) \dots\dots (8)$$

となるので、実際の露光装置の内部で、露光条件と同一の深度で測定することが好ましい。

【0094】

このように、本発明はここでは記載していない様々な実施の形態などを含むことは勿論である。従って、本発明の技術的範囲は上記の説明から妥当な特許請求の範囲に係る発明特定事項によってのみ定められるものである。

【0095】

【発明の効果】

本発明によれば、レチクルステージに固定した状態でのレチクルの位置歪みに起因する誤差を補正でき、歩留まりを向上できる位置歪み補正装置、露光システ

ム、露光方法及び位置歪み補正プログラムを提供できる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の第 1 の実施の形態に係る露光システム 1 0 0 の構成を示すブロック図である。

【図 2】

本発明の第 1 の実施の形態に係るレチクル 5 の湾曲情報を説明するための概略図である。

【図 3】

本発明の第 1 の実施の形態に係るレチクル 5 の位置歪みを説明するための概略図である。

【図 4】

本発明の第 1 の実施の形態に係るレチクル 5 の形状シミュレーションを説明するための概略図である。

【図 5】

本発明の第 1 の実施の形態に係るレチクル 5 の位置歪みを算出する方法を説明するための概略図である。

【図 6】

本発明の第 1 の実施の形態に係るステップ 4 の構成を示す概略図である。

【図 7】

本発明の第 1 の実施の形態に係る露光方法を説明するためのフローチャートである。

【図 8】

本発明の第 2 の実施の形態に係る露光システム 1 0 0 a の構成を示すブロック図である。

【図 9】

本発明の第 2 の実施の形態に係るレチクルステージ 5 5 の平坦度情報を説明するための断面図である。

【図 1 0】

本発明の第 2 の実施の形態に係る露光方法を説明するためのフローチャートである。

【図 1 1】

本発明の第 3 の実施の形態に係る露光システム 1 0 0 c の構成を示すブロック図である。

【図 1 2】

本発明の第 3 の実施の形態に係る露光方法を説明するためのフローチャートである。

【図 1 3】

本発明の第 4 の実施の形態に係る露光システム 1 0 0 e の構成を示すブロック図である。

【図 1 4】

本発明の第 4 の実施の形態に係る露光システム 1 0 0 e の一部の構成を示すブロック図である。

【図 1 5】

本発明の第 4 の実施の形態に係る露光システム 1 0 0 e の一部の構成を示すブロック図である。

【図 1 6】

本発明の第 1 の実施の形態に係る位置歪み (d_x , d_y) を算出する方法を説明するための概略図である。

【符号の説明】

- 1, 1 a, 1 c, 1 e…位置歪み補正装置
- 2…通信ネットワーク
- 2 a～2 n…補正装置
- 3…湾曲情報測定装置
- 4, 4 a…露光装置 (ステッパ)
- 5, 5 a…レチクル
- 6…(第 1 及び第 2 の) 基準平面
- 7…平坦度情報測定装置

- 8…湾曲情報記憶装置
- 8 a…平坦度情報記憶装置
- 9…補正情報記憶装置
- 10, 10 a, 10 c, 10 e, 10 f…CPU
- 11…湾曲情報測定制御手段
- 11 a…湾曲情報送信手段
- 11 b…平坦度情報送信手段
- 11 c…湾曲情報受信手段
- 11 d…平坦度情報受信手段
- 11 x…平坦度情報測定手段
- 12, 12 x…位置歪み情報算出手段
- 12 a…第1の係数フィッティング部
- 12 b…形状シミュレート部
- 12 c…第1の位置歪み情報算出部
- 12 d…第3の係数フィッティング部
- 12 e…第3高さ算出部
- 12 f…第2の係数フィッティング部
- 12 g…第2の位置歪み情報算出部
- 13, 13 x…補正情報算出手段
- 13 a…補正多項式係数算出部
- 13 b…補正情報算出部
- 13 c…係数差分値算出部
- 14…補正制御手段
- 14 a…露光制御手段
- 14 b…補正情報受信手段
- 14 c…補正情報送信手段
- 15…主記憶装置
- 16…補助記憶装置
- 17, 17 a, 17 c, 17 e, 17 f…プログラム記憶装置

1 8 …入力装置

1 9 …出力装置

2 0 …通信制御装置

5 1 …光源

5 2 …コンデンサレンズ

5 3, 5 3 a …補正部

5 4, 5 4 a …投影レンズ

5 5, 5 5 a …レチクルステージ

5 6 …ウェーハ

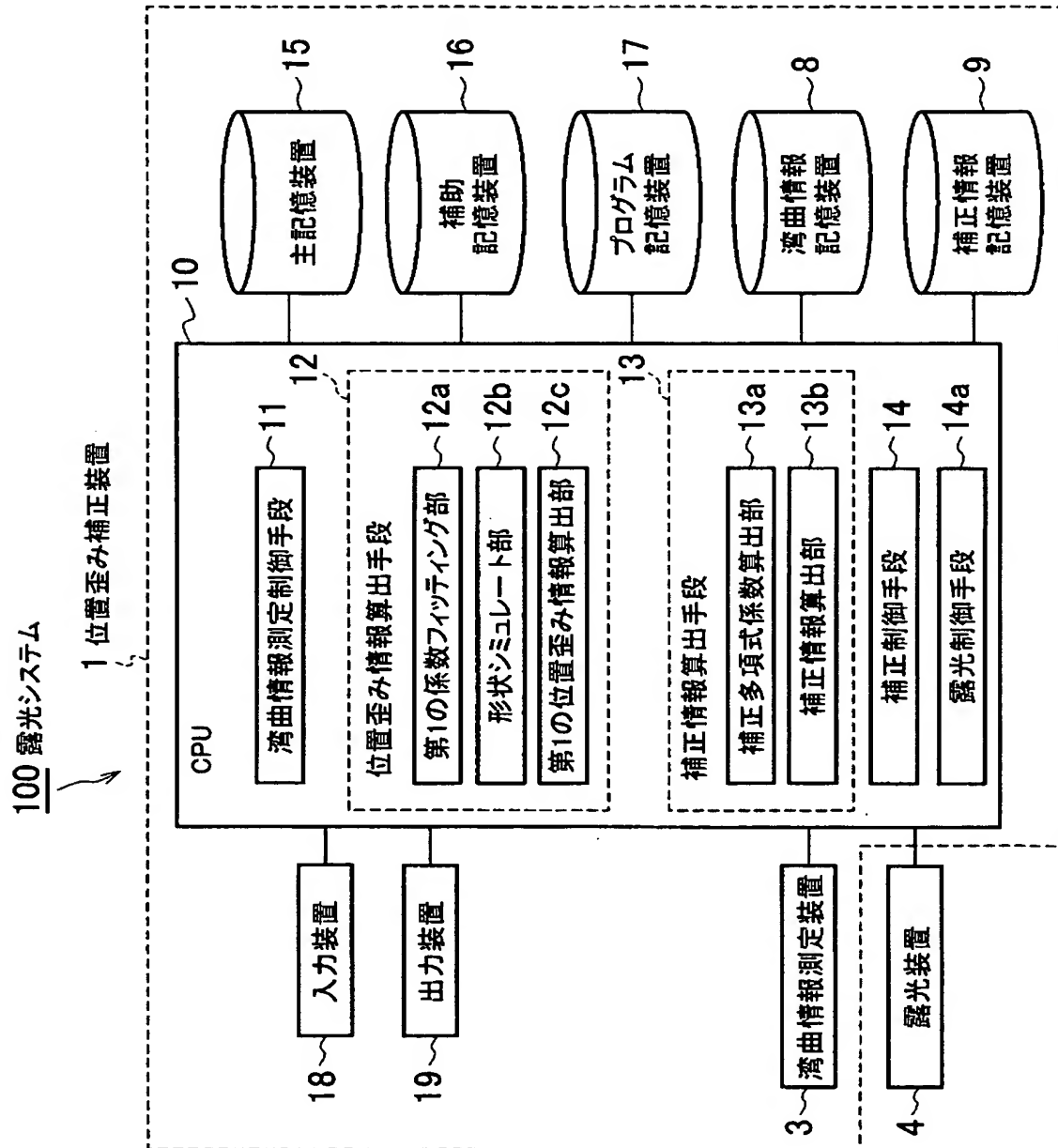
5 7 …基板ステージ

1 0 0, 1 0 0 a, 1 0 0 c, 1 0 0 e …露光システム

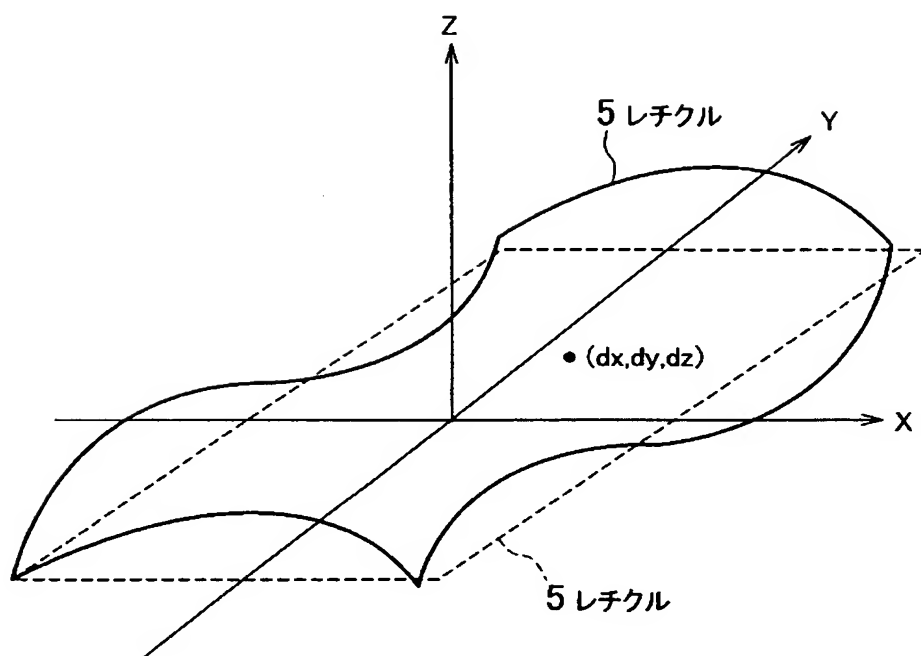
【書類名】

図面

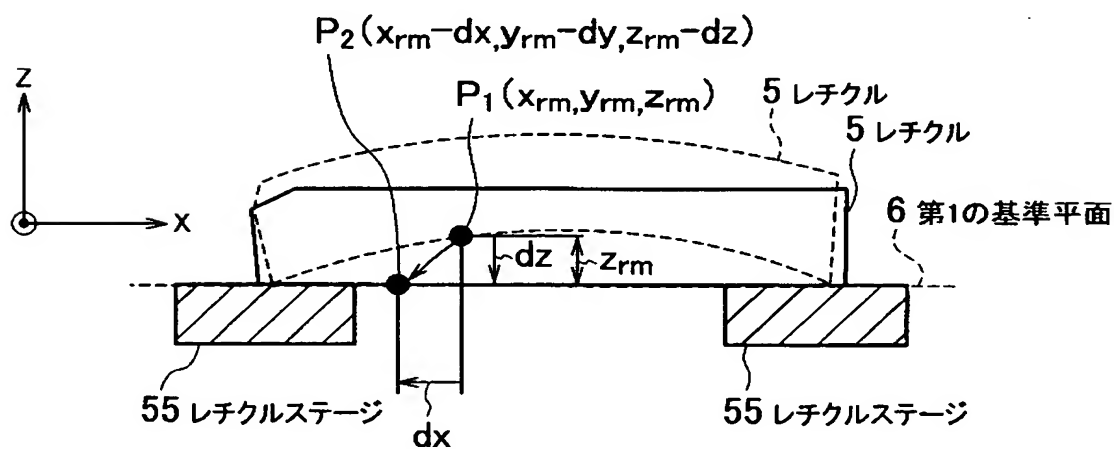
【図 1】



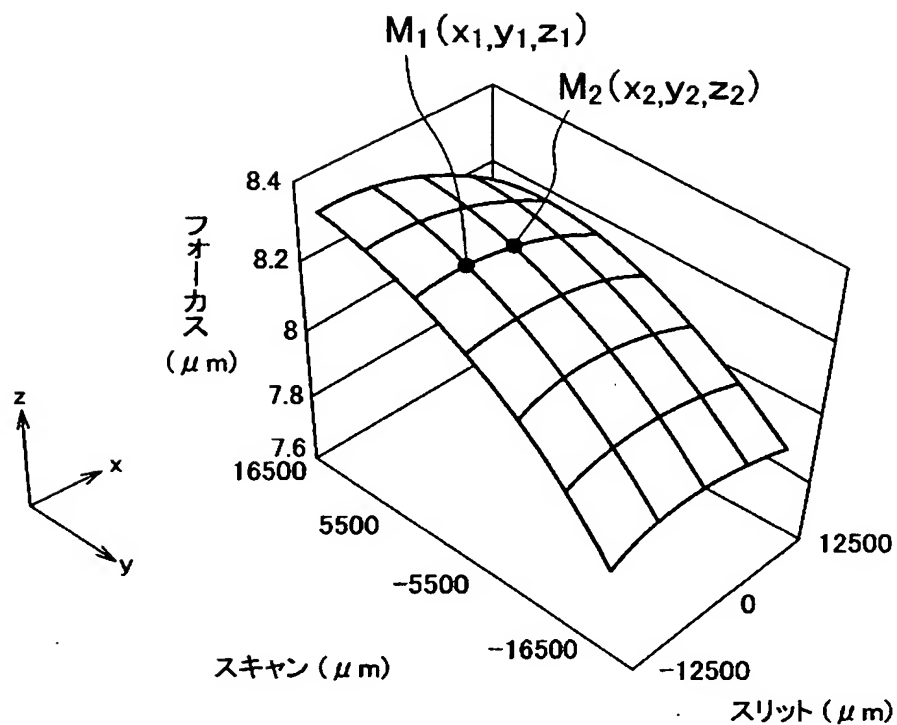
【図 2】



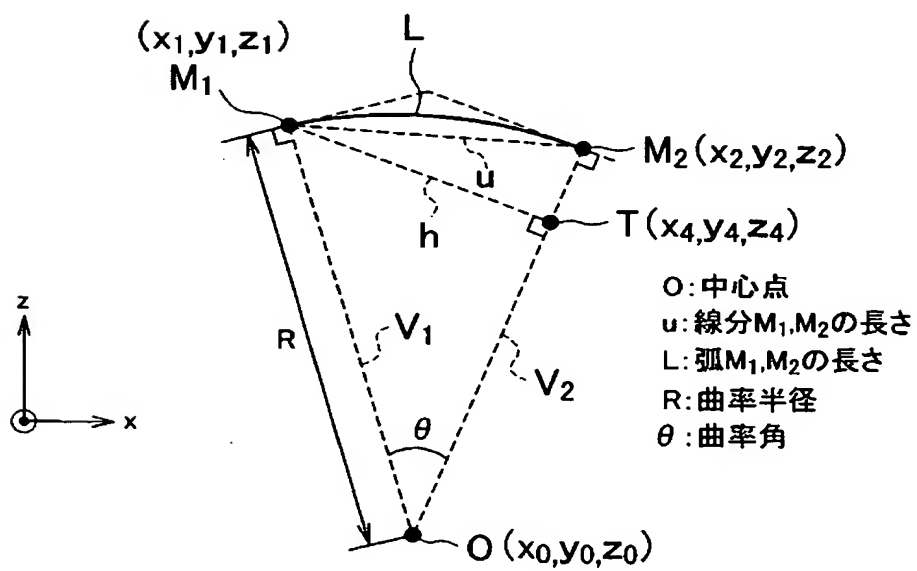
【図 3】



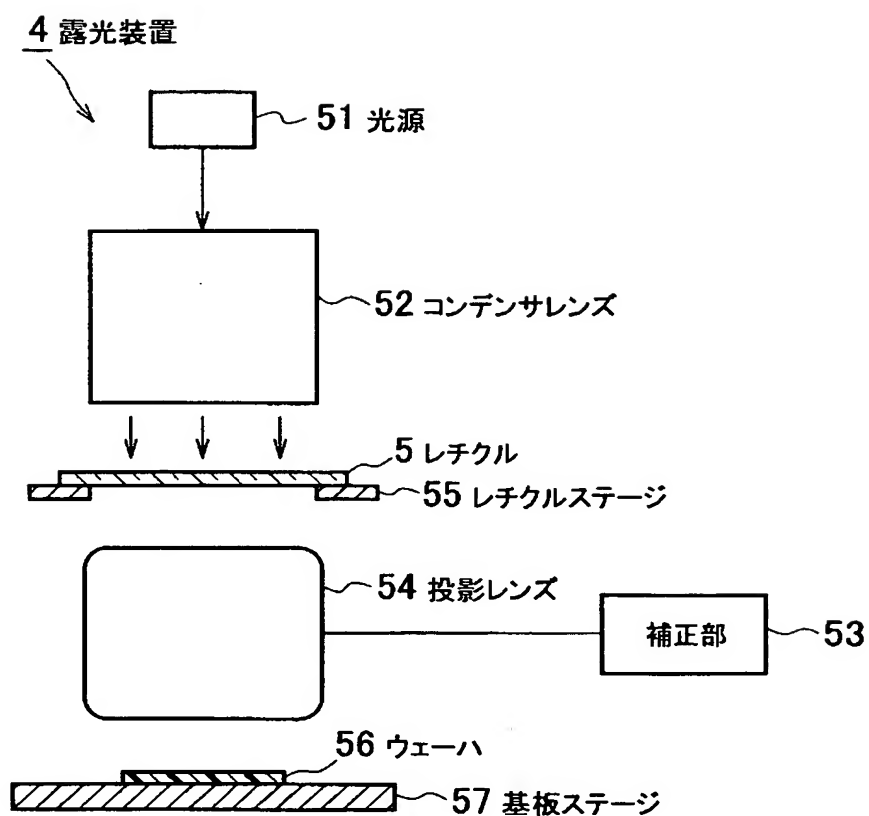
【図 4】



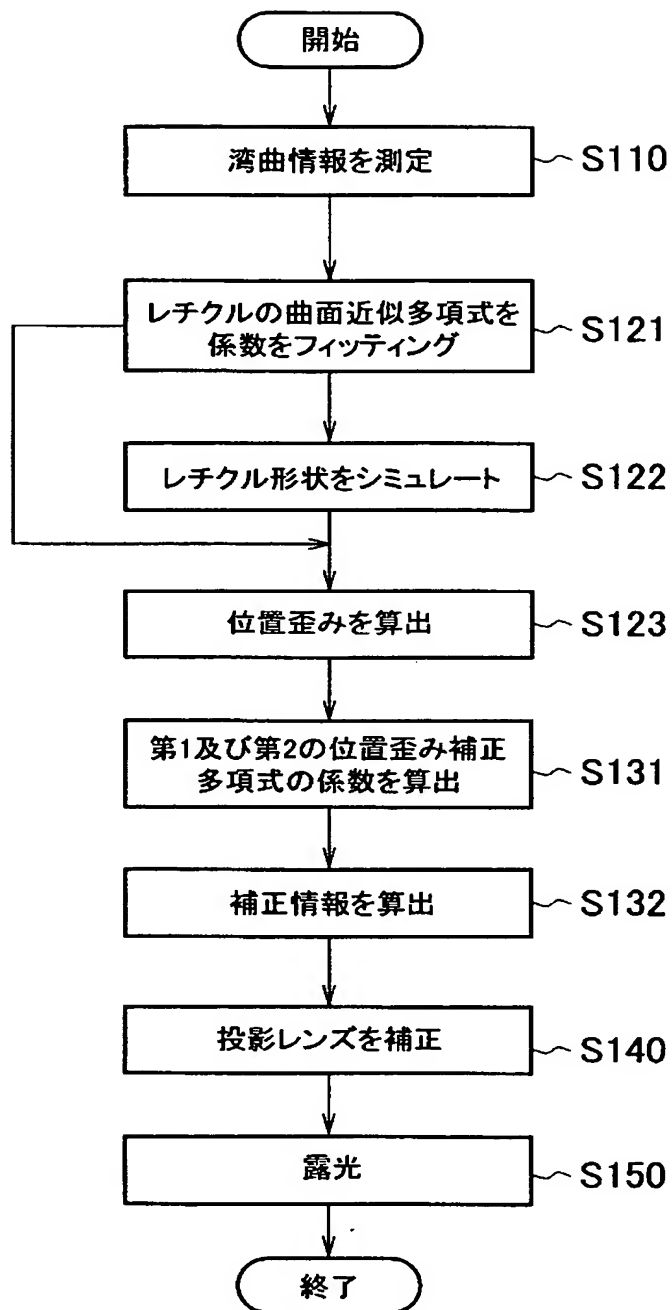
【図 5】



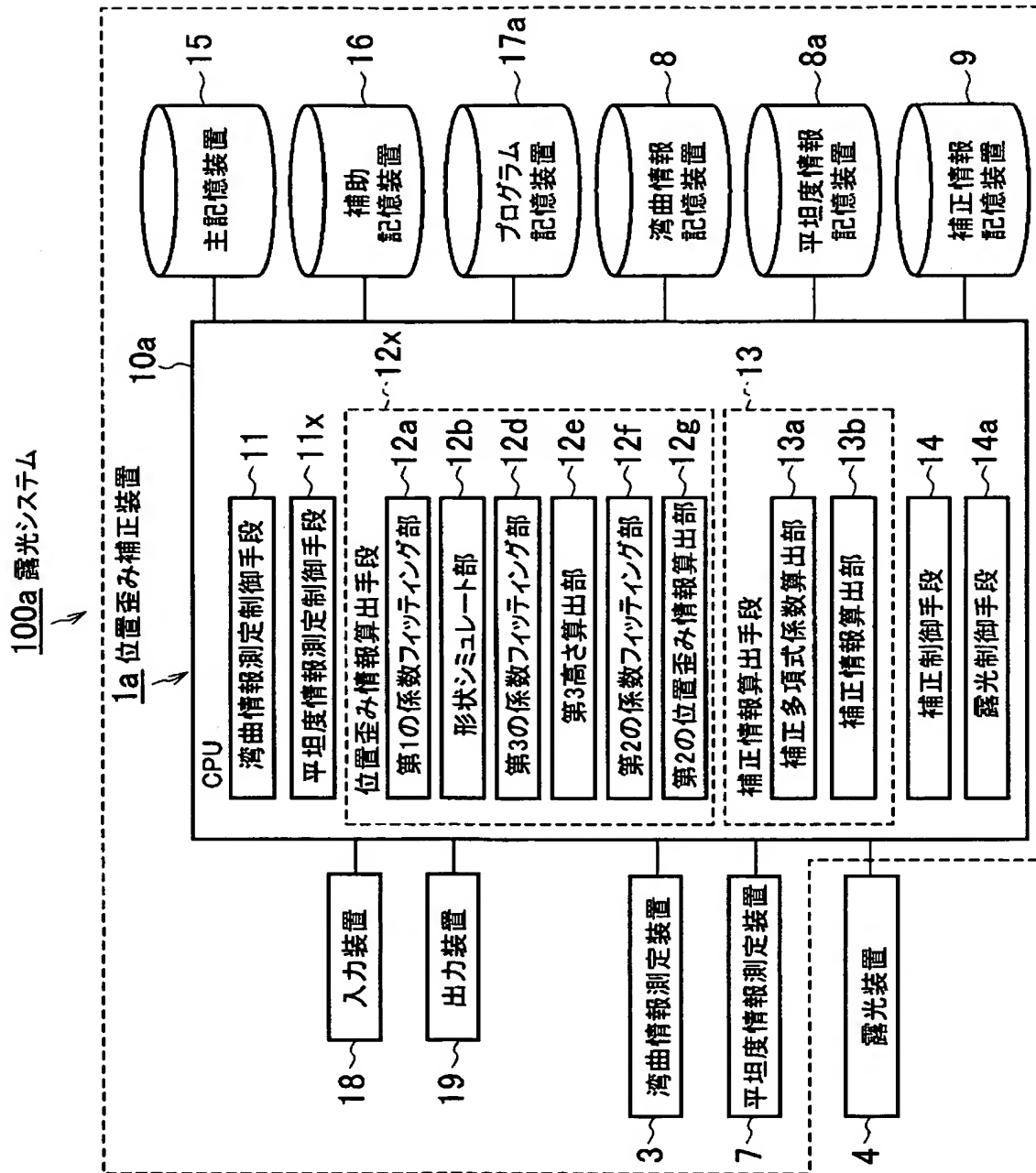
【図 6】



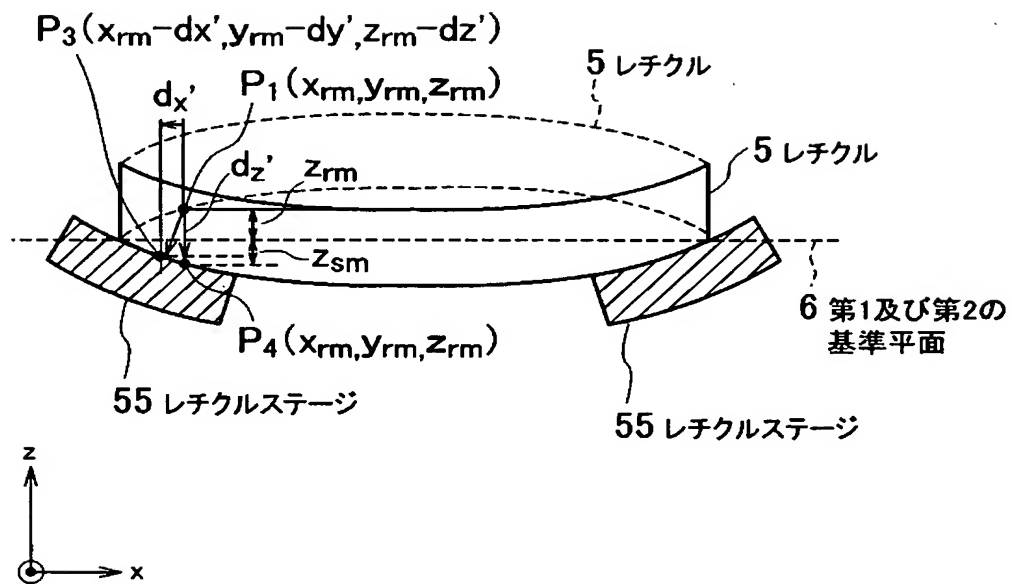
【図 7】



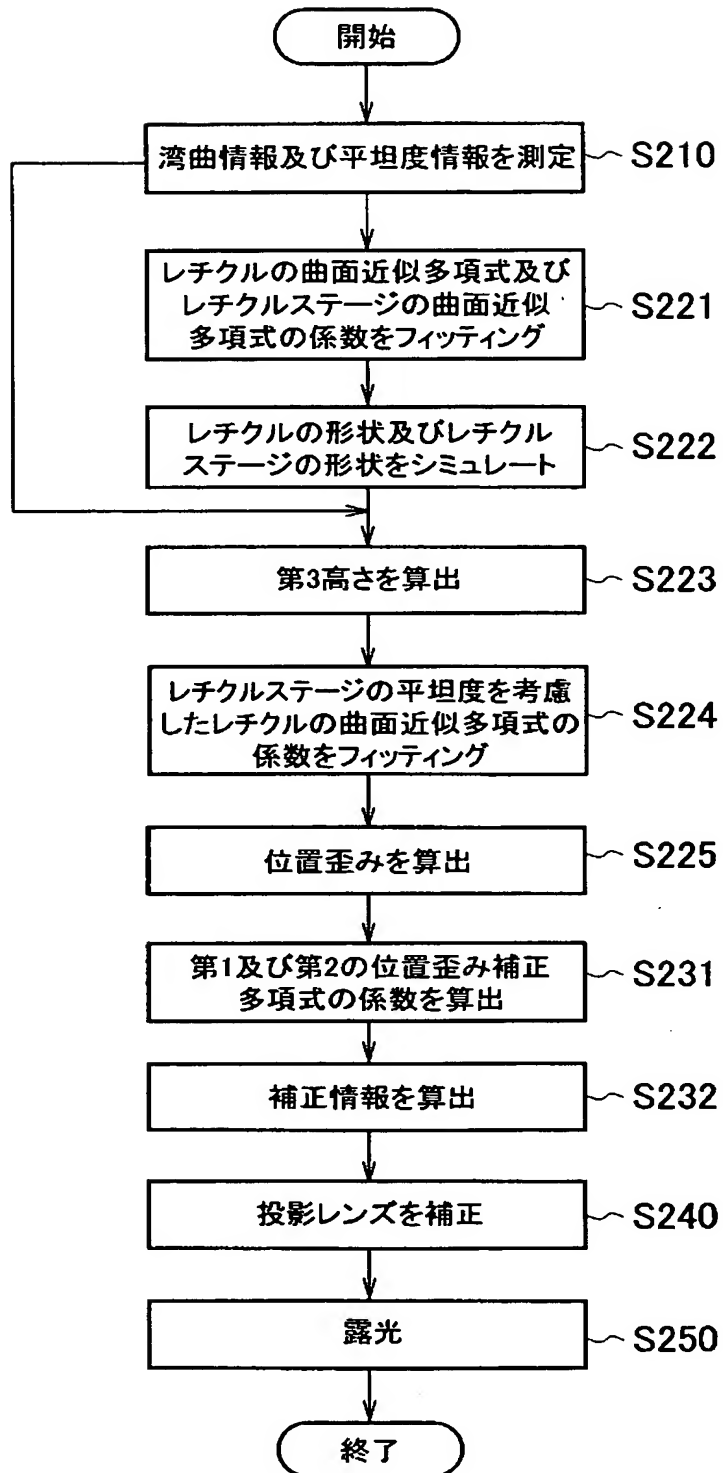
【図 8】



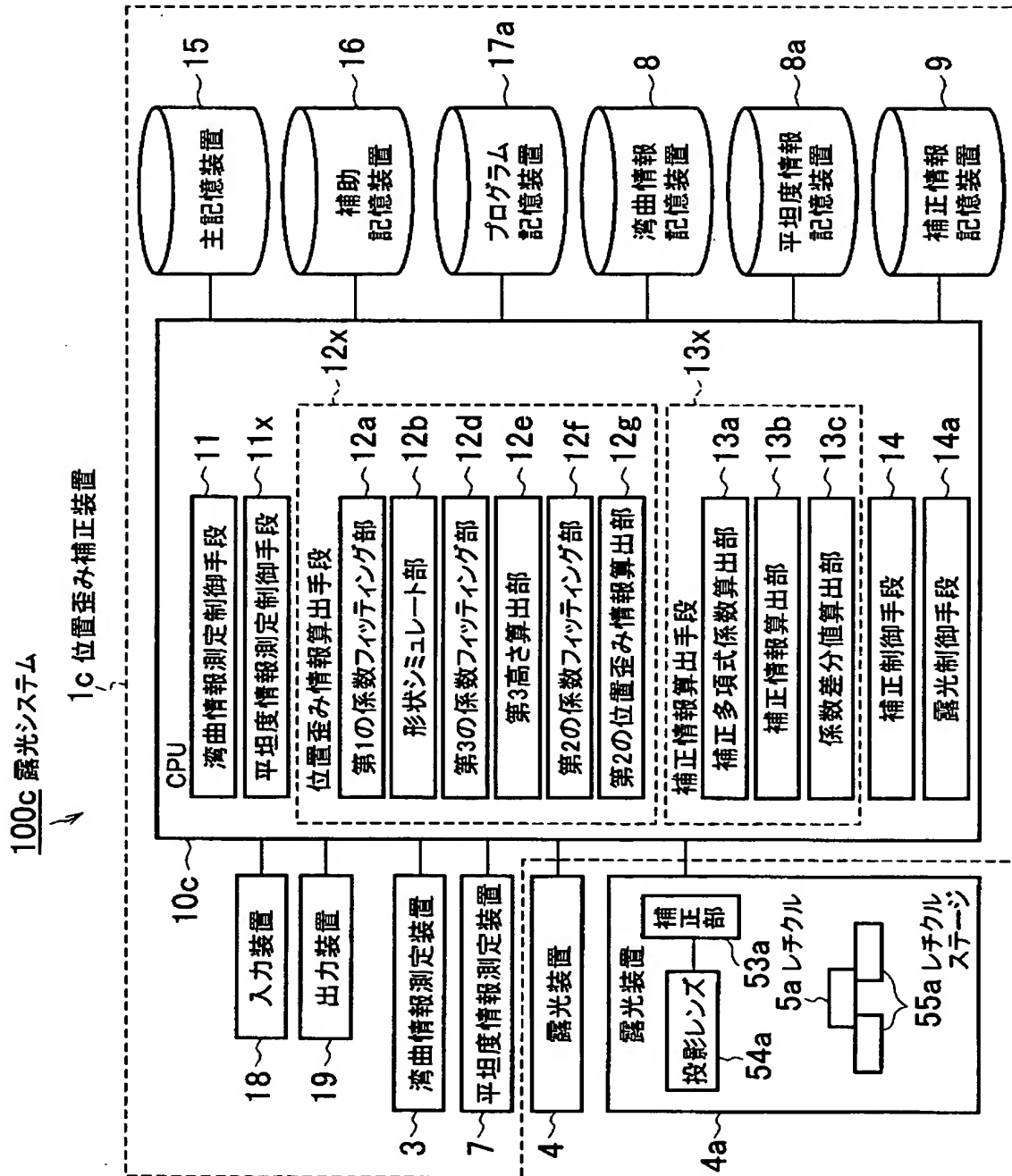
【図 9】



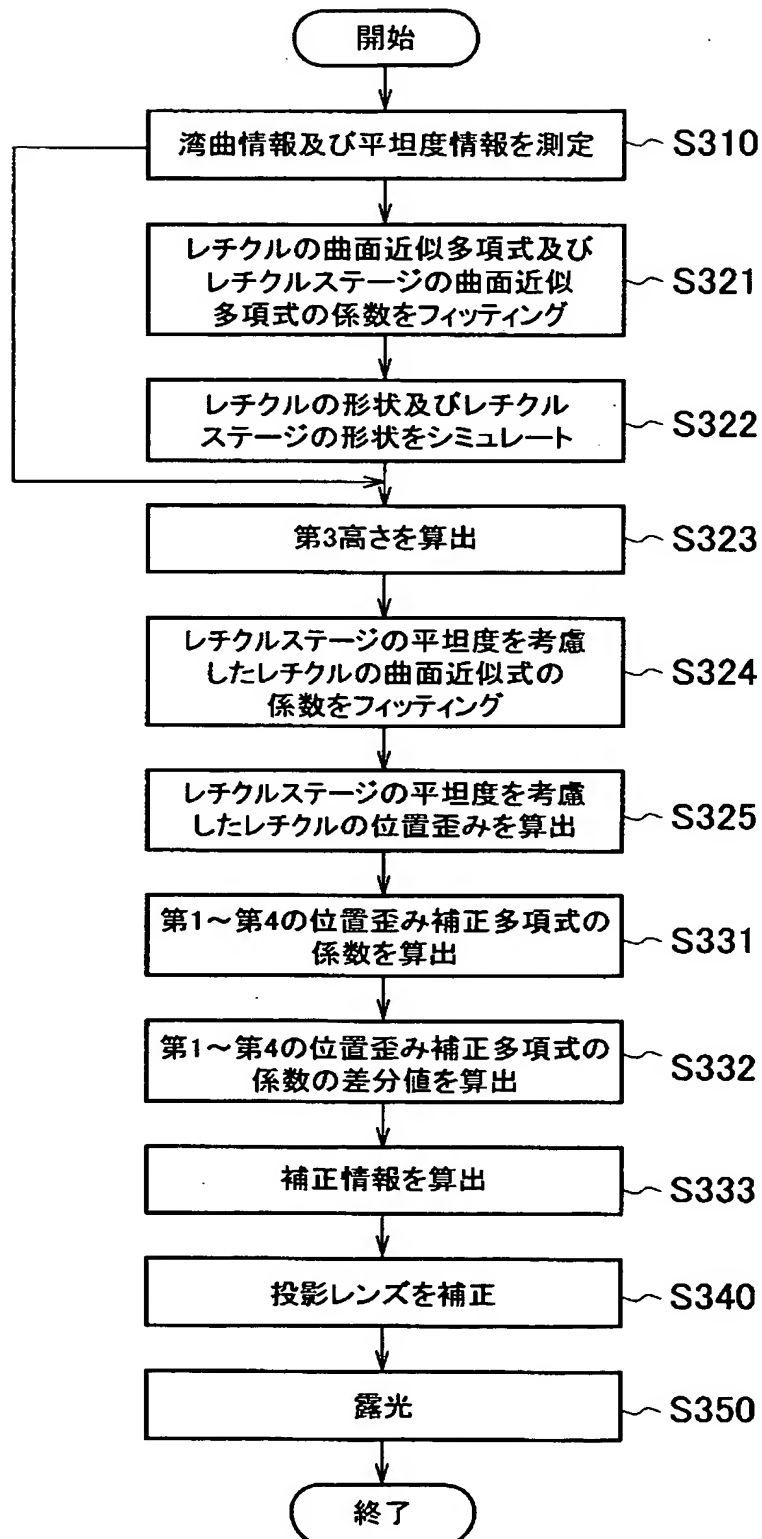
【図 10】



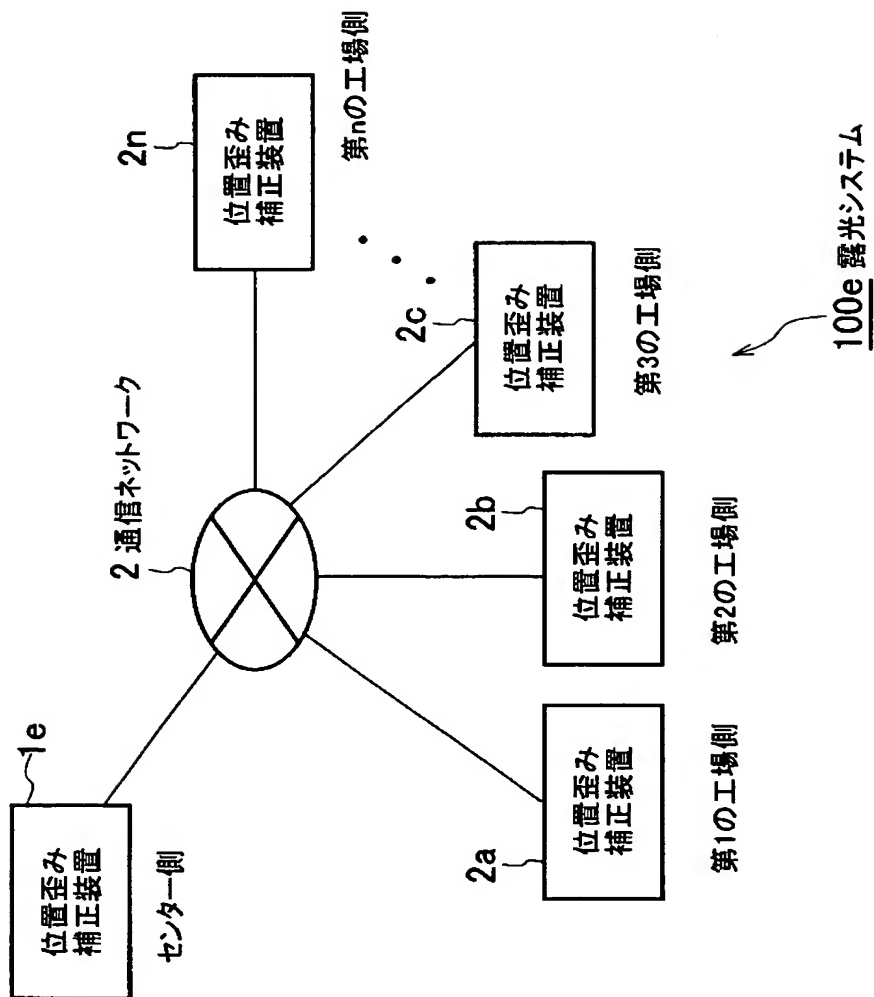
【図 11】



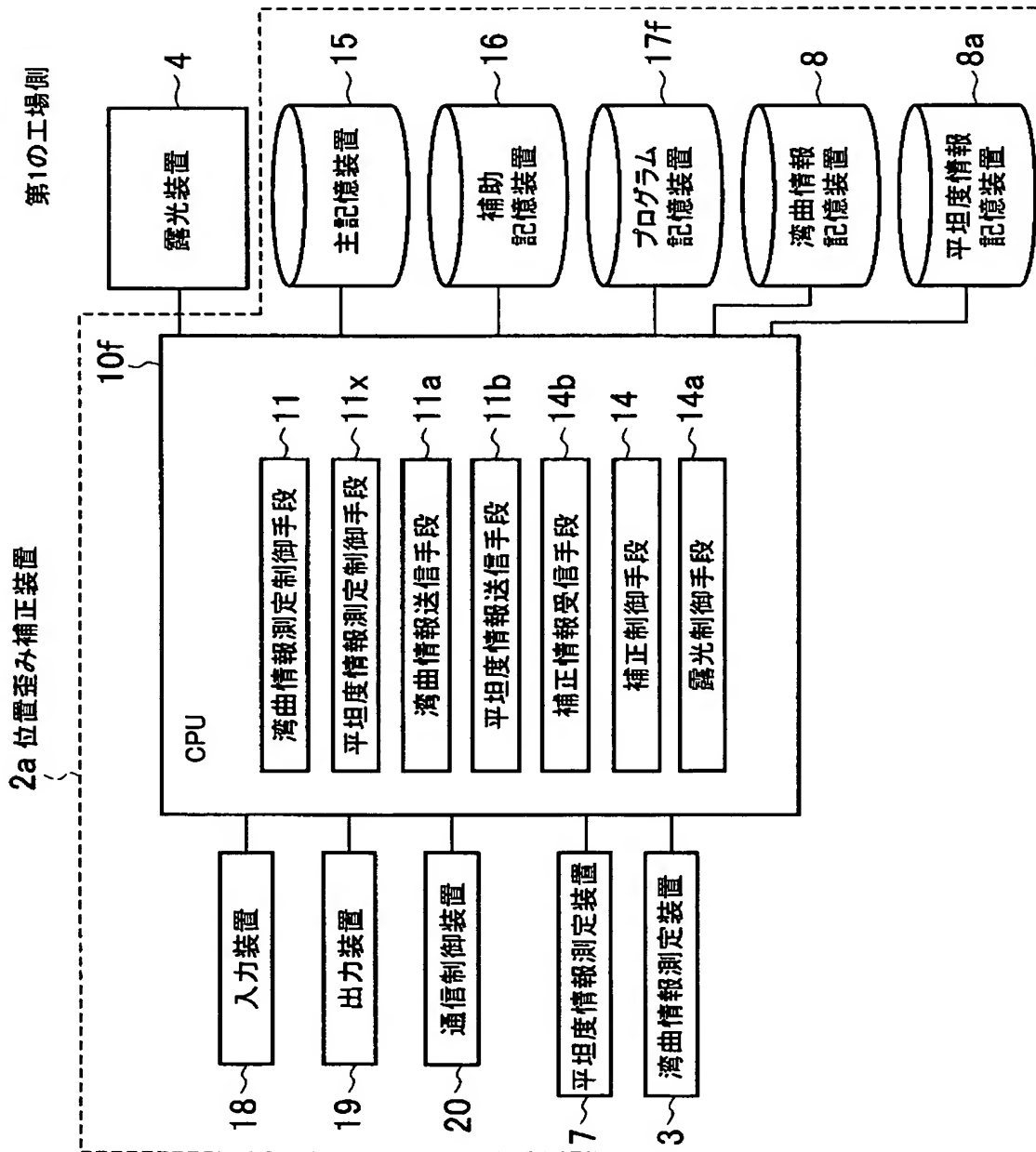
【図 12】



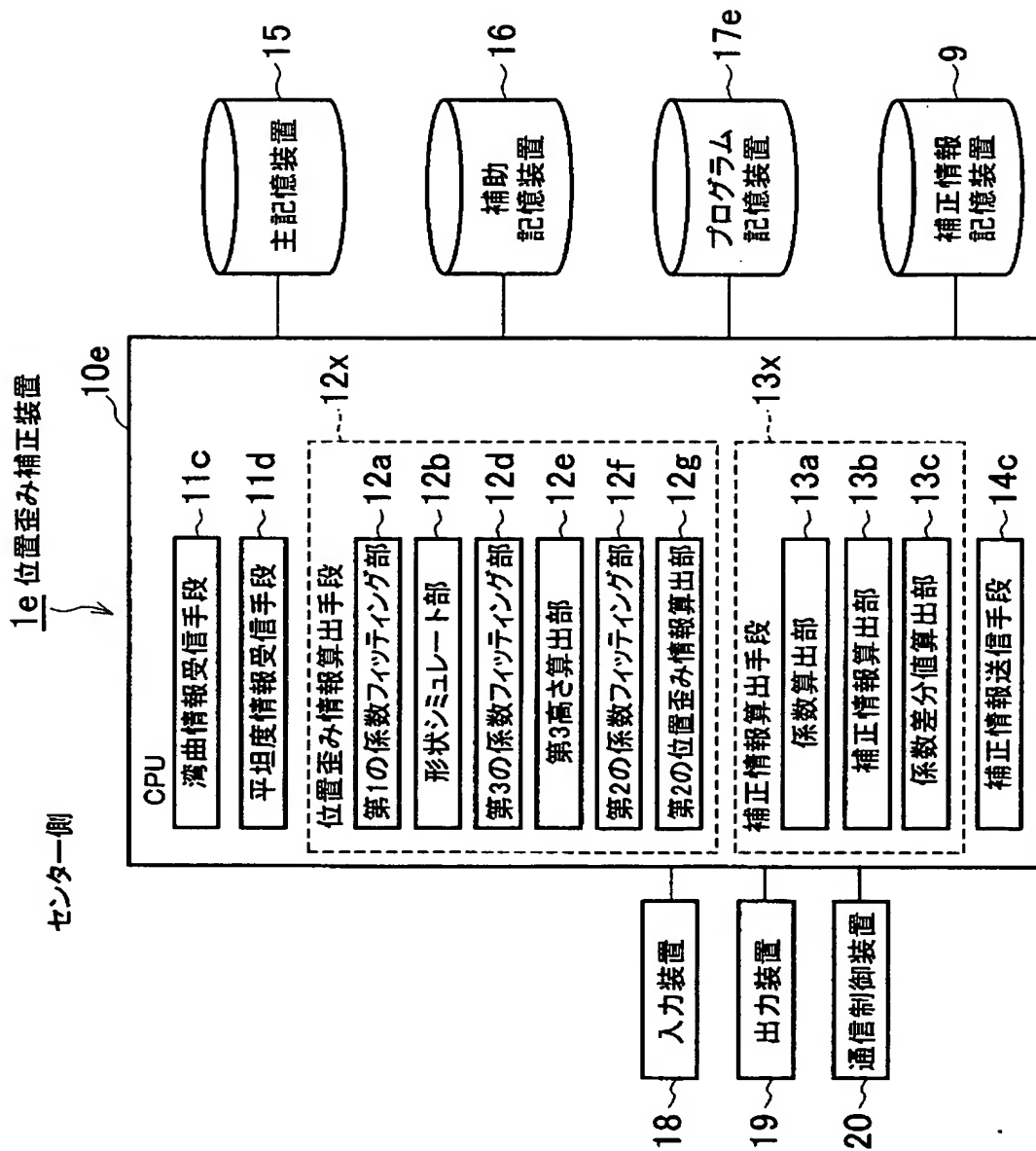
【図 13】



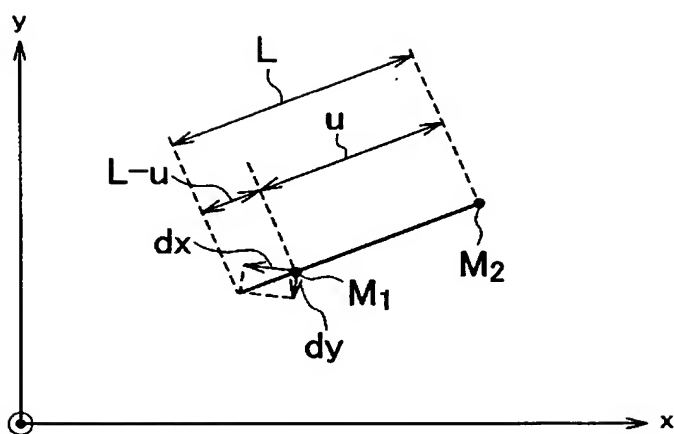
【図 14】



【図 15】



【図 16】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 レチクルステージに固定した状態でのレチクルの位置歪みに起因する誤差を補正でき、歩留まりを向上できる位置歪み補正装置を提供する。

【解決手段】 (イ) 自由保持状態におけるレチクルの湾曲情報を格納する湾曲情報記憶装置 8 と、(ロ) 湾曲情報を用いてレチクルを露光装置 4 のレチクルステージ上に固定したときに生じる位置歪みを算出する位置歪み情報算出手段 12 と、(ハ) 位置歪みを用いて露光装置 4 の投影レンズを補正するための補正情報を算出する補正情報算出手段 13 とを備える。

【選択図】 図 1

特願 2 0 0 3 - 0 8 9 3 7 6

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [0 0 0 0 0 3 0 7 8]

1. 変更年月日	2 0 0 1 年 7 月 2 日
[変更理由]	住所変更
住 所	東京都港区芝浦一丁目 1 番 1 号
氏 名	株式会社東芝